L'ACTION DE L'OZONE

SUR LES

EAUX DE L'ALIMENTATION

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 28 juillet 1906

PAR

André BONNET

Né à Montpellier, le 9 août 1879

Pour obtenir le grade de Docteur en Médecine



MONTPELLIER

IMPRIMERIE GUSTAVE FIRMIN, MONTANE ET SICARDI

Rue Ferdinand-Fabre et quai du Verdanson

—

1906

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

MM. MAIRET (✻) . . . . Doyen
TRUC . . . . Assesseur

Professeurs

Clinique médicale	MM. GRASSET (✻)
Clinique chirurgicale	TEDENAT.
Thérapeutique et matière médicale	HAMELIN (✻)
Clinique médicale	CARRIEU.
Clinique des maladies mentales et nerv.	MAIRET (✻)
Physique médicale	IMBERT.
Botanique et hist. nat. méd.	GRANEL
Clinique chirurgicale	FORGUE (✻)
Clinique ophtalmologique	TRUC.
Chimie médicale	VILLE.
Physiologie	HEDON.
Histologie	VIALLETON.
Pathologie interne	DUCAMP.
Anatomie	GILIS.
Opérations et appareils	ESTOR.
Microbiologie	RODET.
Médecine légale et toxicologie	SARDA.
Clinique des maladies des enfants	BAUMEL.
Anatomie pathologique	BOSC.
Hygiène	BERTIN-SANS
Clinique obstétricale	VALLOIS.

Professeur adjoint : M. RAUZIER

Doyen honoraire : M. VIALLETON.

Professeurs honoraires :

MM. JAUMES, E. BERTIN-SANS (✻), GRYNFELTT

M. H. GOT, *Secrétaire honoraire*

Chargés de Cours complémentaires

Clinique ann. des mal. syphil. et cutanées	MM. VEDEL, agrégé.
Clinique annexe des mal. des vieillards.	RAUZIER, prof. adjoint
Pathologie externe	JEANBRAU, agrégé
Pathologie générale	RAYMOND, agr. (✻).
Clinique gynécologique	DE ROUVILLE, Ag. libre
Accouchements	PUECH, agrégé lib.

Agrégés en exercice

MM. GALAVIELLE	MM. JEANBRAU	MM. GAGNIERE
RAYMOND (✻)	POUJOL	GRYNFELTT Ed.
VIRES	SOUBEIRAN	LAPEYRE
VEDEL	GUERIN	

M. IZARD, *secrétaire.*

Examinateurs de la Thèse

MM. RAUZIER, *président.*	MM GALAVIELLE, *agrégé.*
GRANEL, *professeur.*	VEDEL, *agrégé.*

A LA MÉMOIRE DE MON FRÈRE

A MON GRAND-PÈRE

A MON PÈRE

A MA MÈRE

A. BONNET.

A S. A. S. LE PRINCE DE MONACO

En Hommage de ma profonde gratitude

A. BONNET.

A MON PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE DOCTEUR RAUZIER

PROFESSEUR DE LA CLINIQUE DES VIEILLARDS

Hommage respectueux

A MONSIEUR LE DOCTEUR COLIGNON

MÉDECIN EN CHEF DES HOPITAUX DE MONACO

A. BONNET.

L'ACTION DE L'OZONE

SUR LES

EAUX DE L'ALIMENTATION

INTRODUCTION

La question des eaux potables est la première qui s'impose à toute hygiène sociale. L'eau est après l'air atmosphérique le premier besoin de tout être vivant. C'est elle qui facilite les fonctions digestives, qui sert de véhicule aux diverses substances nutritives ingérées par notre tube digestif ; elle est l'aliment indispensable à l'entretien de l'organisme sain et à la réparation des pertes qu'il subit constamment.

Il est cependant très rare que l'eau dont on fait usage dans les villes, les villages ou toutes autres agglomérations, présente toutes les qualités requises pour la consommation. Pour qu'une eau soit potable, il faut qu'elle présente un certain nombre de qualités en quelque sorte cardinales. Voici comment, il y a quelque vingt ans, le Congrès pharmaceutique international de Bruxelles résumait les conditions exigibles de toute eau potable :

« 1° Elle doit être fraîche et d'une saveur agréable ;

» 2° Sa température ne doit pas varier sensiblement, elle ne peut dépasser plus de 15° ;

» 3° Elle doit être aérée et tenir en dissolution une certaine quantité d'acide carbonique ; il faut en outre que l'air qu'elle renferme contienne plus d'oxygène que l'air atmosphérique ;

» 4° La quantité de matières organiques évaluée en acide oxalique ne doit pas dépasser 20 milligrammes par litre ;

» 5° Elle ne doit pas contenir plus de 5/10e de milligrammes d'ammoniaque par litre ;

» 6° La matière organique azotée brûlée par une solution alcaline de permanganate de potasse ne doit pas fournir plus de 0.0001 d'azote albuminoïde par litre d'eau.

» 7° Un litre ne doit pas contenir plus de :

0,500 de sels minéraux,

0,060 d'anhydride sulfurique,

0,008 de chlore,

0,002 d'anhydride azotique,

0,200 d'oxydes alcalino-terreux,

0,030 de silice,

0.003 de fer ;

» 8° L'eau potable ne doit renfermer ni nitrites, ni hydrogène sulfuré, ni sulfures, ni sels métalliques précipitables par l'acide sulfhydrique ou le sulfhydrate, à l'exception de traces de fer, d'aluminium ou de manganèse ;

» 9° Elle ne doit pas acquérir une odeur désagréable après avoir séjourné pendant quelque temps dans un vase ouvert ou fermé ;

» 10° Elle ne doit renfermer ni saprophytes, ni leptotrix, ni leptomixites, ni hyphéotrix et autres algues blanches, ni infusoires, ni bactéries, et particulièrement aucun de ces êtres en décomposition ;

» 11° L'addition de sucre blanc ne doit pas y développer de fungus ;

» 12° Cultivée avec de la gélatine, elle ne doit pas produire

d'innombrables bactéries liquéfiant cette gélatine en moins de huit jours. »

Il y a, à n'en pas douter, dans cette longue énumération, des exagérations flagrantes. Si l'on exigeait de toute eau potable de pareilles conditions il y aurait certainement bien peu de sources qui seraient utilisables.

Les hygiénistes d'aujourd'hui sont beaucoup moins exigeants. Il leur suffira, pour déclarer qu'une eau peut être soumise à la consommation, que celle-ci soit fraîche, limpide et sans odeur; que sa saveur soit très faible; qu'elle ne soit pas surtout désagréable, ni amère, ni salée, ni douceâtre; qu'elle soit légère et peu chargée en matières organiques; enfin et surtout qu'elle ne soit contaminée par aucun des germes pathogènes capables de susciter un état morbide de l'organisme. Pour les agglomérations dans lesquelles on ne peut disposer que d'une eau polluée impropre aux usages de la vie domestique et industrielle, on sera obligé de lui faire subir des traitements destinés à les améliorer.

Ces traitements consisteront :

1° En amélioration de la composition organique et bactériologique des eaux : c'est l'épuration proprement dite.

2° Amélioration de leur propriété physique et organoleptique.

3° Amélioration de leur composition minérale, gazeuse et organique.

Le problème ainsi compris est susceptible de recevoir des solutions différentes.

Les hygiénistes s'occupèrent d'abord de la captation des eaux de source ; les travaux de canalisation considérables furent faits afin d'assurer l'alimentation des villes, mais tous ces efforts, toutes ces constructions coûteuses ne donnèrent que des résultats peu pratiques. On constata que les eaux de source avaient un débit inconstant, variable et souvent insuffisant.

Les analyses des eaux démontrèrent en sus, chose beaucoup plus grave, que l'alimentation des sources était loin de présenter le plus souvent les qualités exigibles à une eau potable.

Il arriva souvent que, la source acquise et les travaux faits, des eaux d'abord reconnues pures étaient cependant contaminées et que de nouvelles dépenses étaient nécessaires pour empêcher les contaminations ou du moins pour les rendre plus rares et moins dangereuses. Finalement, après force dépenses et forts atermoiements, on n'arrivait qu'à obtenir une sécurité relative.

On a donc été amené très naturellement, au lieu de s'acharner avec obstination dans l'emploi des eaux présumées pures, à chercher, dans la purification artificielle, une sécurité que beaucoup d'eaux de source ne présentaient pas. Le problème pour être plus restreint n'en était pas moins complexe. Il ne s'agissait plus de s'enquérir comment on pouvait se procurer une eau potable, mais bien de savoir comment une eau pouvait être rendue potable. Dès lors, on envisagea les divers moyens que l'on pouvait employer à la réalisation de ce fait : moyens mécaniques, physiques et chimiques.

La filtration est le moyen mécanique qui encore aujourd'hui est le plus souvent employé.

Suivant le procédé la filtration s'effectue soit à travers des substances poreuses comme la terre cuite et la porcelaine. Nous ne ferons pas ici l'étude de ces différentes méthodes ? Le filtrage a sans doute donné dans certaines circonstances d'assez bons résultats. Nous citerons ce qui s'est passé à Hambourg, à Altona, lors de l'épidémie de choléra en 1872. Hambourg et Altona ne forment qu'une même agglomération, mais sous deux administrations différentes. A Hambourg, la mortalité de l'épidémie fut de 14.22 par mille habitants : à Altona de 2,9 pour la même proportion.

Ces deux villes étaient, sans doute, alimentées par de l'eau filtrée. mais à Hambourg la vitesse de la filtration était de 0,12 par heure, tandis qu'elle n'était que de 0,06 à Altona. On ne peut donc nier l'efficacité du filtrage sur les eaux. Ce moyen de stérilisation ne reste pas moins empirique. Le filtrage est plutôt un dégrossissage qu'une véritable épuration. Plieke a pu démontrer, dans une expérience restée célèbre, que le nombre des germes de l'eau sortant d'une galerie filtrante au début de son fonctionnement excède parfois celui de la même eau avant la filtration. L'épuration ne s'effectue réellement qu'après un certain fonctionnement ; lorsqu'il s'est formé à la surface supérieure du filtre « une couche grisâtre, muqueuse, formée de filaments enchevêtrés d'algues, de microbes, de diatomées, le tout empâtant les matières sédentaires, minérales et organiques que toute eau emporte d'ordinaire avec elle ». C'est cette sorte de pellicule qui joue le rôle actif dans la filtration. Le sable ne semble avoir qu'une action secondaire. « Il sert à la fois de frein pour modérer le mouvement de l'eau et de support pour la couche glaireuse des microbes. » On comprendra dès lors combien la filtration doit donner de résultats variables et combien peu de sûreté elle apporte au eaux de consommation. Il suffira que cette mince couche glaireuse se déchire, que cette fine pellicule se crève en un endroit pour que, dès cet instant, l'eau traverse le filtre sans être épurée. Il faut ajouter qu'à mesure que la couche préservatrice augmente d'épaisseur, la filtration devient de ce fait beaucoup plus lente et, dès lors, le débit n'est plus suffisant.

Il faut alors détruire ce dépôt superficiel ; mais en même temps, on supprime la partie active du filtre, auquel on rend son entière perméabilité.

La stérilisation devient alors nulle ou du moins très médiocre jusqu'à ce qu'il se soit formé, au bout de deux ou trois jours, une membrane d'une épaisseur suffisante. « Le déca-

page, dit Vaillant, constitue donc un risque grave, une irrégularité dans le filtrage qui termine l'épuration de l'eau pendant l'interrègne où est le filtre. »

Du reste, même dans son fonctionnement intégral, le filtrage ne fournira qu'une sécurité relative.

On peut reprocher aux galeries filtrantes de ne pas faire de distinction entre les microbes qui leur sont soumis. Elles n'ont aucune action spéciale sur les germes pathogènes.

Fraenkel et Pfieke ont démontré que l'on trouve dans l'eau filtrée les mêmes espèces microbiennes que dans l'eau de filtration et que, dans tout filtre alimenté par des eaux impures, la proportion était la même entre les germes pathogènes et les germes dits inoffensifs. « Ainsi, dit Cornil, supposons qu'il existe par centimètre cube d'eau fluviale, trente mille microbes et qu'ils soient réduits au nombre de trois cents à la suite de la filtration, il est logique de penser, et cela a été vérifié par l'expérimentation, que l'on retrouvera dans l'eau filtrée les mêmes espèces que dans l'eau du fleuve. Si sur les trente mille microbes de l'eau sale, il y avait mille microbes de la fièvre typhoïde, on retrouvera trente de ces parasites de la fièvre typhoïde dans l'eau filtrée. » Aussi, les filtres tendent-ils à disparaître dans les pays soucieux de l'hygiène, notamment en Allemagne et en Angleterre.

Je ne parlerai pas ici du filtrage de l'eau à domicile au moyen de filtres en porcelaine. Bien que l'usage de ces filtres se soit beaucoup étendu dans ces dix dernières années, son usage est loin de s'être généralisé. Il faut compter encore avec l'ignorance, l'indifférence et la routine. Nous reconnaîtrons, du reste, pour être juste, que pour beaucoup de bourses, leur acquisition est beaucoup trop onéreuse. Leur entretien est trop délicat. On sait, en effet, qu'après un certain usage, ces filtres deviennent incapables d'assurer la stérilisation de l'eau. Leur action est alors bien souvent plus nuisible qu'utile. C'est que

l'eau, forcée de parcourir les espaces capillaires de la substance poreuse du filtre, s'y débarrasse des matériaux qui s'y trouvent en suspension ainsi que des germes qui la contaminent. Mais ce sont des êtres vivants qui vont se multiplier et se propager de proche en proche. Ils traverseront toute l'épaisseur de la paroi filtrante et viendront contaminer l'eau qui sort de l'appareil. Les bougies devront être stérilisées et décrassées tous les huit à quinze jours. Ce moyen, même excellent, ne peut donc être mis qu'à la disposition d'une élite. Or, toute mesure d'hygiène qui n'est pas obligatoire, ne peut être réellement efficace. Nous n'avons aucun moyen, aucune loi qui force notre voisin à filtrer son eau. S'il arrive ainsi à s'infecter, il peut ensuite vous transmettre sa maladie par d'autres voies. Tous les hygiénistes admettent aujourd'hui que le filtrage des eaux, quoique rendant de réels services, ne constitue pas cependant une solution satisfaisante au problème de l'épuration des eaux. Les filtres à sable réalisent incontestablement une amélioration dans l'hygiène urbaine, mais ils sont impuissants à garantir l'innocuité de l'eau qu'ils fournissent. Les dangers de contamination sont diminués par le filtrage, mais ne sont pas supprimés.

La stérilisation de l'eau par la chaleur est à la fois beaucoup plus efficace et beaucoup plus sûre. Le moyen le plus certain de faire disparaître d'une eau potable les germes qu'elle contient, est de la chauffer à une température de 115° à 120°. L'eau qui a bouilli à ces températures est à peu près complètement stérile. Les germes qui peuvent résister sont très rares et ils appartiennent tous à des espèces jusqu'ici considérées comme inoffensives. Ce sont des espèces sporulées très résistantes, en particulier le *bacillus subtilis*.

Les avantages de la stérilisation de l'eau par la chaleur sont indiscutables ; les inconvénients sont aussi très nombreux. Il faut d'abord reconnaître que cette stérilisation ne peut s'effectuer que dans des proportions très limitées. Il n'est pas à no-

tre connaissance de systèmes de stérilisation de l'eau par la chaleur pouvant assurer l'énorme débit qu'exige l'alimentation des villes modernes. Jusqu'ici, tous les essais qui ont été faits n'ont porté que sur un faible volume d'eau. La seule installation un peu conséquente que l'on puisse signaler est celle qui fut faite, dit-on, à Tzaritzine (Oural), petite ville de 5.000 habitants, qui est approvisionnée par un ensemble d'appareils *Vaillard* et *Desmaroux*, fournissant cinq cents mètres cubes par jour. L'eau bouillie n'est pas non plus dépourvue de tout reproche ; cette eau est généralement lourde et indigeste. Elle est beaucoup moins agréable à boire que l'eau crue, celle-ci devant sa saveur particulière à l'acide carbonique dont elle est toujours plus ou moins chargée. Il manque, de plus, à l'eau bouillie, un certain nombre d'éléments qui rentrent dans l'eau normale. Les sels de chaux qu'elle tient en dissolution se déposent sous l'action de la chaleur, tandis que des gaz, notamment l'acide carbonique, l'oxygène et l'azote, s'évaporent. Il faut enfin reconnaître que la stérilisation de l'eau par la chaleur est fort coûteuse. On peut compter même, pour les appareils les mieux perfectionnés, que le prix de revient est de 0 fr. 10 par mètre cube. L'installation est très complexe ; elle exige un outillage très compliqué, des chauffeurs, des mécaniciens, une surveillance continue. L'usure du matériel est considérable. Il peut se former en outre au fond des chaudières des dépôts de tartrates, qui peuvent amener des explosions et produire des accidents regrettables. Ce n'est guère que dans les hôpitaux, les casernes et les bateaux que le procédé de stérilisation par la chaleur peut être utilisé.

Les procédés chimiques sont moins coûteux. Ils ont eu, en ces temps derniers, une grande vogue. Ils ont l'avantage, à première vue, de réduire à un minimum les frais de l'installation et de supprimer ainsi tous les appareils encombrants qu'exigent les autres méthodes. Ils n'ont pas cependant répondu aux espéran-

ces que l'on avait fondées sur eux. Il faut, en effet, pour qu'une substance chimique soit applicable à la stérilisation de l'eau, qu'elle présente deux qualités primordiales : 1° n'être pas toxique ; 2° être douée de propriétés antiseptiques, telles qu'ajoutée à l'eau en petite quantité, elle puisse la stériliser complètement sans en altérer la composition naturelle.

Or, il est à peu près impossible qu'une substance possédant des vertus antiseptiques et bactéricides suffisantes ne soit pas en même temps plus ou moins toxique.

Néanmoins, de nombreux procédés ont été mis en avant, bien qu'aucun ne semble avoir donné de résultats satisfaisants.

Tous ces procédés chimiques prêtent aux mêmes critiques. Il est aisé de comprendre combien ces manipulations simples en apparence exigent de soins délicats. Quelles difficultés on rencontrera pour mélanger de grands volumes d'eau à des quantités infinitésimales de la substance antiseptique.

Les réactifs demandent à être dosés avec un soin minutieux.

« Pour adoucir les eaux calcaires par la chaux (procédé de Clark), pour décolorer les eaux tourbeuses par le sulfate d'alumine ou le chlorure ferrique, pour détruire les matières organiques par le permanganate de potasse, comme on l'a essayé à Alexandrie (Egypte) par le péroxyde de chlore (Bergé, Ostende), par le chlorure ferrique et le chlorure de chaux (procédé Duyck), il faut ajouter assez de substance pour produire l'effet voulu. Une économie dans l'emploi se traduirait en somme par un gaspillage, car la quantité trop minime serait alors employée en pure perte. Par contre, il faut éviter d'en employer trop, parce que, d'une part, cet excès serait autant de perdu et augmenterait considérablement le prix de revient ; d'autre part, un excès de réactif peut être aussi nuisible quand il s'agit de substances aussi actives que la chaux, l'acide sulfurique ou le chlore.

Il est vrai que l'on peut, par divers procédés, éliminer de l'eau traitée ces diverses substances.

C'est ainsi que M. Bergé détruisait le chlore par un filtrage à travers le coke ; cette même précaution pourrait être prise pour le procédé Duyck ; mais ce sont là des complications et des surcroîts de dépenses qui finissent par rendre le procédé coûteux et impraticable.

La stérilisation par l'ozone peut être, elle aussi, rangée au nombre des procédés chimiques ; elle n'en présente pas cependant les dangereux inconvénients. Rappelons que l'ozone représente une combinaison de l'oxygène avec lui-même dans laquelle trois volumes sont condensés en deux, sa formule est O^3.

Ce corps fut observé pour la première fois par Van Warun, à la fin du siècle dernier, mais il ne fut vraiment connu qu'après les travaux de Schoenbein et de Houzeau, 1804. Depuis cette époque, de nombreuses publications et de multiples controverses ont divisé longtemps les chimistes sur la nature de l'ozone. Parmi les auteurs qui ont étudié cette question, il importe de citer Marignac, Becquerel, Frémy, Berthelot, Soret, Carius et Otto. On est aujourd'hui d'accord pour considérer l'ozone comme un état allotropique de l'oxygène, un système différent dans le groupement de ses atomes. C'est un gaz incolore, d'une odeur particulièrement forte et caractéristique, qu'on a comparée à celle du homard bouilli. Elle est sensible à un millionnième, à l'odorat. Très peu soluble dans l'eau, il est également très peu stable.

CHAPITRE PREMIER

ETUDES BACTERIOLOGIQUES

Les propriétés bactéricides de l'ozone sont connues depuis longtemps. Dès 1877 et 1878, Downes et Blunt s'étaient occupés de ses qualités antiseptiques et avaient démontré que l'action directe des rayons solaires en présence de l'air atmosphérique, était capable d'empêcher, parfois complètement, d'autres fois plus ou moins partiellement, le développement des cultures des bactéries. Comment s'effectuait ce phénomène ? Il est certes bien difficile de l'expliquer. Le pouvoir de la chaleur n'était pas suffisant et l'on en arrivait à admettre qu'il s'agissait bien plus d'une action chimique que physique et que la mort des germes placés dans les conditions ci-dessus tenait à l'oxydation de la substance propre par la production de l'ozone, résultat de l'activité des rayons solaires. Mais ce n'est guère qu'en 1890-91, que M. Fröhlich, qui s'occupait de préparer industriellement l'ozone, insista particulièrement pour la première fois sur l'emploi que l'on pourrait faire de ce gaz pour la stérilisation des eaux de rivière destinées à l'alimentation. Puis vinrent les remarquables travaux de M. Ohlmüller, publiés dans l'organe sanitaire allemand. Peu de temps après, M. Van Ermengen publia des résultats favorables au sujet d'expériences effectuées par lui dans l'usine laboratoire de Oudsboorn établie par Tyndal. En 1895, à la suite de recherches commen-

cées à l'Institut Pasteur et poursuivies à l'Ecole normale supérieure, sous les auspices de la municipalité de Lille, MM. Marmier et Abraham entreprirent un essai d'allure industrielle, portant sur une grande quantité. Depuis lors, de nombreux dispositifs ont été créés, de nouveaux dispositifs imaginés, partout surgissent des installations nouvelles.

En 1902, ce sont les installations de Siémens et Halske à Paderborn. La même année, la brasserie Velten, de Marseille, installe un appareil Marmier et Abraham, pour épurer l'eau servant à la fabrication de la bière et à tous les nettoyages. Vinrent ensuite les installations du système de Frise, à Saint-Maur, du système Otto, à Nice et à Niagara-Falls. Le champ d'obervation est donc varié et complexe. Nous ne nous arrêterons pas ici à discuter la valeur stérilisante de tel appareil vis-à-vis de tel autre ; ce sont là des questions de détail qui regardent plutôt l'ingénieur que l'hygiéniste. Mais, envisageant la question d'une façon générale et plus élevée, nous tâcherons de profiter de cette ample moisson de faits que nous offre l'expérience, pour essayer d'en déduire l'ensemble des lois auxquelles est soumise la stérilisation de l'eau par l'ozone.

Comme toutes les idées nouvelles, la stérilisation de l'eau par l'ozone a soulevé, dans le camp des hygiénistes, de violentes polémiques. C'est qu'à des données d'ordre purement scientifique se sont souvent mêlées des questions d'intérêts particuliers. Il importe, dans une étude impartiale, de ne point se laisser aller à un enthousiasme exagéré ni à un dénigrement systématique. La valeur antiseptique de l'ozone ne peut être jugée que par des faits nettement et clairement exposés. Avant de consulter le résultat de ces analyses, nous indiquerons les diverses précautions qu'il faut prendre pour donner aux résultats les garanties nécessaires. La méthode est en elle-même très simple. Elle consiste à faire, en même temps que

des ensemencements produits avec de l'eau ozonée, d'autres cultures avec de l'eau non traitée, dans des tubes témoins.

Ces dernières cultures serviront de termes de comparaison. On pourra ainsi examiner la valeur antiseptique de l'ozone :

1° Sur des eaux normalement contaminées ;

2° Sur de l'eau stérilisée que l'on a infectée artificiellement au moyen de cultures déterminées.

Le tout est de pouvoir affirmer, avec certitude, que toute végétation dans les milieux d'épreuve a pour point de départ indubitable un ou plusieurs microbes qui persistent dans l'eau avant son traitement par l'ozone.

Voici comment l'on opère d'ordinaire pour y arriver :

L'eau à examiner est tout d'abord recueillie dans des fioles bouchées à l'émeri, dans des tubes stérilisés obturés au coton, ou encore dans les pipettes à numération renfermées dans des étuis en verre.

L'eau ordinaire sera recueillie immédiatement à sa sortie du robinet. L'eau ozonée pourra être prise, soit à la sortie des émulseurs, soit à la sortie des colonnes de stérilisation, soit enfin au robinet d'alimentation.

Cette première opération permet de conserver l'eau dont on doit faire l'examen, à l'abri des germes extérieurs, de manière à pouvoir en faire l'analyse en temps utile. Quant à l'ensemencement il pourra se faire dans les milieux, suivant les microbes sur lesquels porteront les recherches. Les procédés de spécification sont les mêmes que ceux employés dans la microbie générale. Ces procédés sont encore assez imparfaits. Il s'en faut de beaucoup que chaque espèce microbienne ait une monographie bien établie. Cette imprécision porte heureusement surtout sur les bactéries saprophytes. Les bactéries pathogènes sont beaucoup plus aisément reconnaissables.

On se contentera généralement de faire des cultures de l'eau ozonée, soit dans du bouillon, soit dans la gélatine.

Les cultures de bouillon sont peu pratiques; elles compliquent la manipulation sans donner un meilleur résultat ni déceler un plus grand nombre de microbes.

La gélatine est un milieu, beaucoup plus commode. Il se prête plus facilement à la numération et à la spécification des bactéries.

Pour procéder à un ensemencement, on commencera par faire fondre les tubes de gélatine; on vide ensuite le contenu dans des cristallisoirs ou boîtes de culture, préalablement tiédies durant quelques minutes à une température de 36°, afin d'éviter la condensation abondante qui se produirait sous le couvercle, si ce dernier était froid. On prend alors des tubes scellés contenant l'eau à examiner, et qui ont été conservés dans de la glace; on mélange bien le liquide, de manière à ce qu'il y ait partout une égale répartition des germes. On plonge alors une pipette stérilisée dans le tube, on aspire l'eau et on ensemence ensuite les plaques en entrebaillant les couvercles et en laissant écouler obliquement de la pipette un nombre de gouttes correspondant à un quart, un demi, un centimètre d'eau. On place ensuite ces diverses cultures dans des milieux favorables à leur développement. Il sera nécessaire, dans une analyse minutieuse, de soumettre les milieux à diverses températures; les germes acclimatés en eau froide ne s'accommodent pas toujours bien des températures élevées des étuves d'incubation.

Il suffira, le plus souvent, d'abandonner les cultures à la température atmosphérique dans un endroit peu éclairé. Cependant l'absence de toute colonisation après un certain nombre de jours dans la gélatine solide à 15 et 20°, n'est souvent qu'un indice d'une stérilisation apparente.

Il suffira de placer les cristallisoirs ou les tubes à gélatine

dans un incubateur à 37°, pour y voir apparaître des végétations.

Parfois même, certaines cultures exigent des températures de 40 à 60° ; il s'agit alors de germes affaiblis qui rajeunissent difficilement à des températures relativement basses et dans des milieux de consistance solide. Les colonies exigeront pour se développer un certain nombre d'heures et de jours, qui variera suivant la richesse microbienne de l'eau, le calibrage de la pipette et le nombre de gouttes de liquide employé.

Leur apparition se fera généralement de la 28e à la 48e heure. Le maximum de développement coïncidera avec le 8e ou 12e jour. On pourra également noter la forme des éléments, leur grandeur, leur groupement, leur affinité pour les matières colorantes, la manière dont ils se comportent vis-à-vis du Gram, etc... Ces données permettront souvent d'identifier les espèces. Enfin, dans certains cas, lorsque les renseignements seront insuffisants, il conviendra de pratiquer des cultures sur différents milieux : gélose, pomme de terre, bouillon, lait, etc... L'ensemble des observations ainsi recueillies permet ordinairement d'identifier un micro-organisme ou tout au moins de le classer près de l'espèce dont il se rapproche le plus. Cette méthode, ordinairement employée, ne donne que des résultats approximatifs. Lorsqu'on ensemence avec la même eau non contaminée une vingtaine de plaques, il arrive qu'une dizaine environ restent stériles. Les autres présentent 4 ou 5 colonies et plus. On en conclut néanmoins que du moment que 50 % des échantillons ne donnent aucune culture, ceux qui ne se montrent point stériles doivent être contaminés accidentellement.

Ainsi, les résultats laissent toujours un doute sur l'origine des colonies développées. Pour éloigner toute cause d'erreur et rendre les résultats les plus exacts possible, M. Van Ermen-

gen dans des essais à Oudshoorn, adopta un dispositif ingénieux. Voici la description qu'il en donne lui-même:

« L'eau traitée par l'air ozonisé, avant de sortir des appareils, passe par un tube de verre, étiré à son extrémité sur une longueur de 10 à 15 centimètres et recourbé horizontalement. Cette partie terminale par laquelle l'eau s'écoule en un fort jet, quand on ouvre pleinement le robinet, ou goutte à goutte quand on le règle convenablement, est entourée d'un manchon de verre qui permet d'opérer à l'abri des germes atmosphériques. Le manchon, enlevé, ce tube est filé et flambé, puis le manchon est remis en place; l'eau est recueillie dans des flacons de forme allongée. La bourre d'ouate est retirée avec une pince passée à la flamme, le tube effilé introduit dans le col du flacon et l'eau reçue goutte à goutte dans 10 centimètres cubes de gélatine liquéfiée à 20°. On compte environ 16 à 18 gouttes pour 1 centimètre cube... »

. . . .

Enfin, récemment nous avons fait plusieurs séries d'essais avec un dispositif qui doit exclure d'une manière absolue toute introduction de germes étrangers à l'eau analysée. Les appareils de culture sont munis à leur ouverture de deux bourres d'ouate: une première tenue par un étranglement, et qu'on laisse en place; une deuxième que l'on enlève seule au moment de l'ensemencement. Le tube capillaire en verre qui laisse écouler l'eau est remplacé par une aiguille en platine irridiée.

Avant de prendre des échantillons, on flambe cette aiguille et la bourre supérieure étant retirée, on traverse avec l'aiguille l'autre bourre, de manière que son extrémité soit libre dans le récipient.

Au moyen d'appareils de ce genre, on peut recueillir une quantité assez considérable d'eau en une fois: 20, 50, 100 centimètres cubes, par exemple. Dans des ballons *ad hoc* conte-

nant une quantité correspondante de gélatine ou de bouillon et puis ensuite passer à l'incubateur. »

Telles sont, succinctement exposées, les diverses précautions que l'on doit prendre pour procéder à une analyse bactériologique de l'eau. Ce sont les nombreux résultats obtenus par ces divers procédés, qui serviront de base à toute cette étude.

La valeur antiseptique de l'ozone varie selon les usages auxquels on le destine.

Il agit peu sur les microbes qui résistent à la dessiccation. C'est un mauvais désinfectant.

Il n'est, par contre, aucun agent antiseptique de l'eau dont l'action soit comparable à la sienne.

Ohlmüller fut le premier à bien mettre en évidence cette remarquable dualité.

Dès ses premiers essais, l'auteur s'aperçut des difficultés énormes qu'on rencontre quand on veut détruire les microbes, sous forme de poussière sèche sur les parois des murs et à la surface des objets.

Les docteurs Ransome et Foulerton ont particulièrement étudié cette question.

Dans une première série d'expériences, ils inoculèrent de l'agar placé dans des tubes horizontaux, puis après ensemencement, ils firent passer sur cet agar un courant d'air ozoné fortement concentré et prolongèrent le contact ainsi obtenu pendant plus de 4 heures.

L'action de l'ozone fut peu sensible. On constata simplement un retard dans l'apparition des colonies.

Mais ces expériences n'étaient pas sans prêter à la critique.

On pouvait, en effet, soupçonner l'agar, matière organique, de paralyser l'action de l'ozone. De nouvelles expériences vinrent cependant confirmer les premières et enlever tout doute possible.

De petits blocs de plâtre de Paris furent ensemencés et placés ensuite dans des tubes bouchés à l'amiante.

Puis on fit passer un courant d'ozone dans chaque tube.

Après avoir été soumis pendant un temps prolongé à l'action de l'ozone, ils furent ensuite placés dans un milieu nutritif. On n'obtint aucun résultat. Les tubes traités ne présentèrent aucune différence avec les tubes témoins. La même expérience, faite sur de petits cubes de porcelaine, resta également négative. Mais si l'ozone est sans action sur les microbes vivants, dans un milieu desséché, il n'en est point de même pour les microbes en suspension dans les liquides et l'on peut se convaincre aisément qu'à l'état humide leur destruction par l'ozone est assurée. Dans ces cas, l'action antiseptique de l'ozone est extrêmement violente.

Il est impossible dans l'état actuel de la science d'en bien connaître la raison : « Ni la formation d'eau oxygénée, ni celle de composés oxygénés du chlore, ne peuvent être prises en sérieuse considération, car d'une part Schutzenberger a démontré que l'ozone décomposait l'eau oxygénée et, d'autre part, il est établi qu'il faut 60 milligrammes d'eau oxygénée à l'état naissant pour tuer en six heures les germes de l'eau. Enfin, avec Ogier, nous avons cherché à constater la présence de l'eau oxygénée au moyen de la réaction si sensible de l'acide perchromique et nos résultats ont été négatifs.

» Il ne paraît pas s'en former, car la réaction sensible à un 1/2 millionnième, n'a plus lieu quelques secondes après le contact de l'ozone. »

Et M. Bonjean de conclure : « On peut émettre l'hypothèse d'une action toxique comparable à celle de l'oxyde de carbone sur les hématies, ou l'action de rayons particuliers entraînés avec de l'air dans l'eau. »

Ajoutons que M. Otto en 1896 a signalé la présence d'une luminosité violette dans l'eau chargée d'air ozoné pendant

quelques secondes seulement. Ce phénomène attribuable à la présence de matières organiques n'aurait pas lieu avec l'eau distillée. Quoi qu'il en soit, constatons les résultats sans chercher plus longtemps des causes qui nous sont encore inconnues.

Un fait reste acquis : Il suffit d'une quantité infinitésimale d'ozone pour stériliser un très grand volume d'eau.

D'après MM. Ogier et Bonjean, il suffit de 0,600 d'ozone pour stériliser mille litres d'eau de source.

C'est-à-dire que l'ozone présenterait des propriétés antiseptiques presque instantanées aux doses de 0,0006 % d'eau. MM. Marmier et Abraham ont également étudié la concentration de l'air ozoné et la limite inférieure au-dessous de laquelle l'action bactéricide de l'ozone devient insuffisante.

Leurs expériences portèrent sur l'eau de Seine qui, à vrai dire, est suffisamment chargée en matières organiques. Ils commencent par traiter cette eau de Seine par de l'air ozoné très faiblement concentré. Voici les résultats :

Concentrtion de l'air ozoné au milligramme par litre	1
Nature de l'eau traitée	Seine
Quantité d'eau ensemencée en centimètres cubes	14
Nombre total de ballons	12
Nombre de ballons ayant poussé en 24 heures	6
— — — 40 —	4
— — — 60 —	1
— — restés stériles	1

Certes la concentration est insuffisante et les résultats mauvais. Mais il y a pourtant déjà un indice de stérilisation. On trouve un ballon stérile. Dans les autres, le nombre de germes est diminué et leur virulence atténuée. Voici un essai qui a été fait avec une concentration un peu plus élevée :

Concentration de l'air ozonée en millig. par litre.					2
Nature de l'eau traitée.					Seine
Quantité totale ensemencée en centimètres cubes . .					7,5
Nombre total de ballons					15
Nombre total de ballons qui ont poussé en			24	heures.	7
—	—	—	48	—	1
—	—	—	88	—	2
—	—	—	96	—	1
—	—	restés stériles			4

Ici les résultats sont beaucoup plus satisfaisants.

Au-dessus de cette limite la stérilisation est assurée. Voici des résultats d'expérience faites sur l'eau de la Seine à une concentration de 9 milligrammes et qui sont dus également à MM. Marmier et Abraham :

Concentration de l'air ozoné en milligramme par litre . .	9
Nature de l'eau traitée	Seine
Quantité totae d'eau en centimètres cubes	84
Nombre total de ballons	15
Nombre total de ballons ayant poussé au bout de 6 jours	1
Nombre total de ballon restés stériles	14

On peut regarder cette stérilisation comme parfaite, si l'on tient compte de la possibilité d'une contamination accidentelle des bouillons de culture pendant les manipulations.

MM. Marmier et Abraham estiment que la concentration de l'air ozonisé doit être de 5 milligrammes.

M. Otto affirme qu'une concentration de deux à trois milligrammes suffit pour la stérilisation d'une eau normale. M. Weyl arrive à des résultats à peu près identiques. Avec 2 milligrammes d'ozone actif il détruisait le 99 % des germes

contenus dans les eaux du lac Tegel ; avec 3 à 4 milligrammes, il obtenait la stérilisation complète de 500 centimètres cubes d'eau contenant auparavant 6.000 germes par centimètres cubes, bien qu'une notable quantité d'ozone ne fût pas réellement utilisée à la stérilisation.

Il en est de même pour les résultats obtenus par Siemens et Halske. Il s'agit de l'eau de La Sprée très grossièrement dégrossie avant d'être livrée à l'ozonisation.

Il fut estimé que la stérilisation de 1 mètre cube d'eau n'exigeait pas plus de 1 à 2 grammes d'ozone suivant l'impureté de l'eau en question, si la totalité de l'ozone était utilisée.

Il se perdait environ 70 % de celui qui était produit dans les établissements Siémens et Halske. En réalité, l'action de l'ozone est en rapport avec l'état de pureté de l'eau ; elle est d'autant plus efficace que cette dernière est moins chargée en matières organiques.

Ohlmüller reconnut le premier ce fait.

L'ozone stérilise les germes contenus dans l'eau à la seule condition que cette eau ne contienne pas, en outre, une trop grande quantité de matières organiques dissoutes.

Il y a donc avantage, au point de vue économique, à ne traiter que des eaux préalablement purifiées par la filtration.

Il en est de même, d'ailleurs, pour les autres procédés de stérilisation chimique (peroxyde de chlore, ferro-chlorure, etc).

Passons maintenant des données du laboratoire aux résultats industriels.

Les résultats obtenus à Lille furent bactériologiquement des plus satisfaisants. Les eaux d'Emmerin qui alimentent la ville proviennent d'une série de sources jaillissant dans des marécages et des terres cultivées. Les nappes qui les alimentent ont leur origine dans la craie. En raison de leur profondeur moyenne et de leur mode de captage, enfin de la disposition des points

d'émergence, ces eaux sont riches en germes provenant des couches superficielles, principalement aux époques de grandes pluies. Elles contiennent une assez grande quantité de matières organiques qui, évaluées en acide oxalique, se trouvent à raison de 0,014 par litre. Ces eaux furent soumises à une organisation dont la concentration varie de 5 milligrammes à 9 milligrammes. Voici quelques résultats du rapport présenté à la municipalité de Lille par la Commission scientifique chargée de l'examen de la question.

I

Analyse bactériologique de l'eau ozonée prélevée le 11 décembre à 10 heures du matin

Débit de la colonne = 35 mètres cubes d'eau à l'heure
Concentration = 5 mgr. 8 d'ozone par litre d'air
Température à l'intérieur de l'ozoneur 20°
Température extérieure 13°

MILIEUX de CULTURE	NOMBRE de ballons ou matras ensemencés	QUANTITÉ d'eau ensemencée dans chaque ballon ou matras	NOMBRE de germes par ballon ou matras apr. 15 jours de culture à 36° pour les bouillons, ou 7 jours à 23° pour les gélatines	ESPÈCES microbienn. observées
Bouillon de viande neutre.	10	0 cc 5	0	»
Id.	5	1 cc	1	B. subtilis.
Id.	1	11	1	B. subtilis.
Id.	1	12	0	»
Id.	2	13	0	»
Gélatine nutritive	5	1	0	»
Id.	5	2	0	»

RÉSUMÉ : *2 germes de* **B. subtilis** *pour une quantité totale de 74 cent. cubes d'eau ozonée.*

II

Eau ozonée prélevée le 12 décembre à 10 heures du matin conservée pendant 4 jours au laboratoire à 18° avant ensemencement

MILIEUX de CULTURE	NOMBRE de ballons ou matras ensemencés	QUANTITÉ d'eau ensemencée dans chaque ballon ou matras	NOMBRE de germes après 15 jours de culture à 36° pour les bouillons ; après 7 jours à 23° pour les gélatines	ESPÈCES micro-biennes observées
Bouillon de viande neutre	5	1 cc	0	»
d°	5	0 cc 5	0	»
Gélatine nutritive.	4	1 cc	0	»

RÉSUMÉ : Aucun germe microbien *dans 11 cc. 5 d'eau ozonée, conservée, avant ensemencement, 4 jours au laboratoire, à la température moyenne de 18°.*

Les résultats des expériences faites avec le procédé Otto sur les eaux de la Seine et de l'Avre ne sont pas moins probants. Quoique présentant un résidu organique assez considérable, ces eaux furent néanmoins stérilisées d'une façon à peu près parfaite avec des concentrations relativement très faibles.

III

Eau de l'Avre

Débit de l'eau = ... 396 litres à l'heure | Concentration = ... 3 milligr. 5
— l'air ozoné = . . . 285 — | d'ozone par litre.

	EAU DE L'AVRE		
	BRUTE	APRÈS TRAITEMENT FAIBLE	
		à l'émulseur seul	à la sortie de la colonne
Nombre de germes (par cc.)	515	1 pour 3 cc. B. mesentericus.	1 pour 3 cc. B. subtilis.
		Résultats obtenus sur 30 cc. d'eau ensemencée	
Recherche du B. coli et des espèces pathogènes	B. coli sur 1 cc. B. putrides.	Pas de B. coli sur 150 cc. d'eau. Pas de B. Putrides.	Pas de B. coli sur 150 cc. d'eau. Pas de B. putrides.

IV

Eau de Seine

Débit de l'eau = ... 396 litres à l'heure | Concentration = ... 3 milligr. 5
— l'air ozoné = . . . 285 — | d'ozone par litre.

	EAU DE SEINE		
	BRUTE	APRÈS TRAITEMENT FAIBLE	
		à l'émulseur seul	à la sortie de la colonne
Nombre de germes par cent. cube	1.977	6 B. mycoïdes, subtilis, mesentericus, Sarcina lutea.	3 B. mycoïdes, Sarcina lutea.
Recherche du B. coli et des espèces pathogènes	B. coli sur 1 cc. B. putrides.	B. coli sur 1 cc. B. putrides.	Pas de B. coli sur 150 cc. d'eau. Pas de B. putrides.

On voit qu'indépendamment de quelques germes sporulés, l'eau ainsi obtenue est parfaitement potable. Enfin, les résultats obtenus dans les essais de Nice sont en concordance avec ceux déjà cités.

Les eaux de la Vésubie ozonisées par le procédé Otto ont fourni des analyses excellentes.

Voici le tableau des analyses extrait du rapport officiel de la ville de Nice.

V

Analyses Bactériologiques faites à l'Usine Électrique

*sur l'*Eau Brute *prélevée au robinet du laboratoire (dilution au* 1/100e), *et sur l'*Eau Ozonée, *prélevée à la sortie de la galerie de stérilisation*

DATES	Vol. d'eau traité à l'heure en litres	Débit de l'air ozoné en litres	Concentration par litre en mgr.	Colonies produites par centimètre cube	
				Eau brute (1)	Eau ozonée (2)
22 Août	100.000	21.000	2,58	1.650	moins de 1 germe (b. subtilis)
23 »	100.000	21.000	2,7	2.400	moins de 1 germe (b. subtilis)
24 »	100 000	21.000	2,4	2.000	moins de 1 germe (megaterium)
25 »	100.000	21 000	2,68	2.400	moins de 2 germes (subtilis)
26 »	120.000	21.000	2,7	2.200	moins de 2 germes (subtilis)
28 »	120.000	21.000	2,48	1.500	2 germes (subtilis, mesentericus)
29 »	120.000	21.000	2,6	1.850	moins de 2 germes (subtilis, megaterium)

(1) Moyenne de 2 prélèvements.
(2) Moyenne de 5 prélèvements.

Résultats Bactériologiques

Sur 35 plaques ensemencées avec l'eau ozonée, 11 sont restées stériles.
La moyenne des colonies est restée inférieure à 5 germes par cent. cube.
L'eau brute, diluée au 1/100, a donné une moyenne de 2.000 germes par c.c.

Il peut cependant arriver que l'impureté de l'eau empêche la possibilité d'une ozonisation directe. On pourra alors appliquer le système préconisé à Oudshoorn. L'eau sur laquelle on opérait à Oudshoorn provient du vieux Rhin ; elle est profondément souillée par les déchets d'usines, par la tourbe et les matières fécales ; elle est jaunâtre et dégage souvent une odeur répugnante.

Elle décolore jusqu'à 0,063 de permanganate, alors que l'eau de la Tamise à Londonbridge n'en réduit que 0,038.

C'est donc une des eaux de rivière les plus souillées que l'on puisse rencontrer.

Le nombre de ses germes varie de 5000 à 10.000.

Cette eau fut d'abord clarifiée sur un filtre à sable. Au sortir du filtre, elle a encore une couche jaunâtre. Ce ne fut qu'après cette clarification préalable, diminuant considérablement la teneur des eaux en matières organiques qu'on appliqua la stérilisation par l'ozone qui donna d'excellents résultats bactériologiques.

On peut également citer comme exemple les résultats obtenus à Saint-Maur, à l'Usine des Eaux de la Ville de Paris.

La stérilisation y est faite avec des appareils de la société Sanador, système De Frise.

L'eau traitée est tantôt l'eau de Marne brute, tantôt l'eau de Marne filtrée par les filtres à sable de la Ville de Paris.

De l'étude comparative faite par MM. Ogier et Bonjean, il résulte que la quantité d'ozone employée varie dans les 2 cas.

La stérilisation a été obtenue pour 1 mètre cube d'eau de Marne brute avec 1317 litres d'air contenant en tout 1 gr. 16 d'ozone.

La stérilisation de 1 mètre cube d'eau de Marne filtrée, plus pure que la précédente, a été réalisée dans une autre expérience avec 831 litres d'air contenant 1 gramme 18 d'ozone

dans la première partie d'expérience et avec o gr. 56 d'ozone seulement dans la deuxième partie.

A Martinikenfeld et à Wiesbaden l'ozonisation de l'eau ne se fait qu'après avoir passé sur des filtres Brix qui éliminent les corps en suspension.

L'eau traitée dans le premier cas est celle de La Sprée, au sortir de Berlin ; elle est donc extrêmement impure ; elle contient au lieu de captage environ 200.000 germes par centimètre cube ; après l'ozonisation, elle est tantôt complètement stérile, tantôt contient de 20 à 50 germes par centimètre cube.

Il est, du reste, rare qu'une ville soit réduite à employer une eau de consommation aussi chargée que celle-là en matières organiques, pour nécessiter ainsi une filtration préalable.

On peut donc formuler avec Ohlmüller les conclusions suivantes : « L'ozone a une activité destructive puissante sur les bactéries suspendues dans une eau pourvu que cette eau ne soit pas souillée par des substances organiques en trop grande quantité. »

Il nous reste à étudier, afin de rendre cette étude plus complète, l'action spécifique de l'ozone vis-à-vis de chaque germe et spécialement ceux qui ont coutume de contaminer les eaux urbaines.

Déjà en 1894, Van Ermangen, étudiant les eaux du laboratoire de Horn, démontra que seules les bactéries sporulées, douées d'une résistance vitale réellement extraordinaire, pouvaient résister à l'action de l'ozone.

Encore cette résistance n'est-elle que relative. Les expériences faites par lui sur l'eau du vieux Rhin décellent, en effet, après l'ozonisation, la présence de diverses bactéries aquatiles telles que le *B. subtilis*, le *B. ramosus*, le *B. mésentericus*.

Il reconnut également une variété de l'espèce étudiée par Globig, d'une résistance exceptionnelle, à laquelle il donna le nom de B. Rubiginosus. Les espèces de ces différents genres

ne sont pas tuées par un contact de plusieurs heures avec de la vapeur et de l'eau à 100°. Van Ermengen étudia jusqu'à quel point allait cette résistance vis-à-vis de l'ozone. Dans une première expérience (15 mai 1895), il introduisit dans l'eau filtrée des spores de B. ramosus.

L'eau à stériliser donna 28.000 bactéries par centimètre cube. Le titre au permanganate était de 0,359 grammes par litre. La production de l'ozone était assurée par un petit appareil dit à colonnes « sur 13 échantillons soumis à l'ozonisation, examinés en tubes roulés, 11 furent trouvés stériles, 2 donnèrent une colonie de B ramosus et une autre colonie d'une espèce non liquéfiante ; dans un autre tube, une colonie de B. subtilis. »

La deuxième expérience fut faite avec des cultures de B rubiginosus. Ainsi que nous l'avons dit, ce bacille présente une résistance très spéciale, alors que le B. subtilis est tué après 18 jours d'action d'une solution phéniquée à 5 %, le B rubiginosus y résiste au-delà de 40 jours. Un centimètre cube d'eau filtrée additionné de culture de ces microbes en sporulation contient 32.000 colonies. Sur 18 échantillons, 17 se montrèrent parfaitement stériles après 8 jours d'incubation à 37 %. Ainsi l'ozone présente des qualités antiseptiques incontestables même sur les microorganismes les plus résistants. Mais cette stérilisation exige une trop grande concentration de l'air ozoné et une ozonisation trop prolongée. Leur destruction complète serait très coûteuse et forcerait à des dépenses inutiles. L'hygiéniste doit se préoccuper plutôt de la qualité que de la quantité de microbes contenus dans les eaux de consommation.

Ce qu'il y a surtout d'important et d'intéressant à connaître dans l'ozonisation c'est l'action antiseptique de ce procédé vis-à-vis des divers germes pathogènes. C'est là le point capital de la question auquel se sont attachés de nombreux expérimentateurs. Parmi les germes que peuvent contenir les eaux

d'alimentation, il est utile d'établir des distinctions ; 1° Entre les germes qui, tout en pouvant se trouver en suspension dans l'eau, conservent cependant leur vitalité en dehors de ce milieu et résistent à la dessiccation ; 2° ceux, au contraire, qui spécialement adaptés à la vie aqûatile et pour lesquels l'eau est le principal agent de transmission. Parmi ces derniers, il en est certains qui sont particulièrement communs et redoutables : le colibacille, le bacille d'Eberth et le B du choléra.

L'étude de la première catégorie nous arrêtera peu.

Elle comprend des bactéries pour qui le milieu liquide est défavorable.

On les rencontre rarement dans l'eau et ils n'y séjournent qu'accidentellement. Dans ces cas-là, ce n'est que très exceptionnellement que l'on peut accuser l'eau d'avoir servi d'intermédiaire à l'infection.

Il était néanmoins utile de connaître la résistance de ces microbes vis-à-vis de l'ozone.

C'est ce qu'a fait M. Rietsch, le savant professeur de l'Ecole de pharmacie de Marseille, dans ses essais rearquables sur les appareils de la Brasserie Velten de la même ville. M. Rietsch se servit pour ces expériences de dispositifs ingénieux imaginés par lui-même et permettant de faire agir l'air ozonisé industriellement sur l'eau chargée successivement de divers microbes pathogènes.

Nous décrirons en quelques mots la méthode employée par le savant expérimentateur.

Voici d'abord comment il opère pour la préparation de l'eau contaminée :

Il emploie comme récipient des bonbonnes en zinc (celles en verre sont trop fragiles) contenant une cinquantaine de litres environ. Ces bonbonnes sont passées à l'étuve à 125°. Au sortir de l'autoclave, le bouchon de coton est remplacé par un bouchon en caoutchouc percé de deux tubes. Le premier

de ces tubes recourbé en siphon plonge au fond de la bonbonne ; le second s'arrête au niveau du bouchon. La bonbonne, ainsi bouchée, peut être transportée à l'étuve sans risques de contamination . On infecte ensuite l'eau par l'intermédiaire du second tube avec un microbe déterminé qu'une agitation prolongée permet de répartir uniformément.

Lorsqu'on veut stériliser l'eau ainsi polluée, il suffit de faire communiquer le tube à siphon qui plonge au fond de la bonbonne avec une colonne de stérilisation.

M. Rietsch a créé à cet effet de petits appareils miniature qui s'adaptent aux ozonateurs industriels et qui permettent de poursuivre isolément ces expériences sans contaminer l'eau de consommation. Nous ne ferons pas la description de ces appareils qui ne sont, du reste, sauf quelques détails, qu'une réduction des colonnes de stérilisation ordinaires.

Grâce à ces appareils, M. Rietsch put étudier successivement l'action de l'ozone sur le streptocoque, le staphylocoque, le B de la diphtérie et celui de la peste.

Voici, du reste, les résultats obtenus et publiés dans le journal mensuel (*Marseille médical*) mai et juin 1903.

VI

	Quantités d'eau ensemencées		
	1/2 cc.	1/2 cc.	1/2 cc.
	—	—	—
Coli. — Flacon *a*	0	0	0
» *b*	0	0	0
	Une tige	Une anse	2 cc. 5
	—	—	—
Témoin	+	+	+
	Une tige	Une anse	2 cc. 5
	—	—	—
Streptocoque. — Flacon *a*	0	0	0
» *b*	0	0	0
» *c*	0	0	0
Témoin	+	+	+

VII

	Quantités d'eau ensemencées			
	Une anse	Une goutte	1/2 cc.	2 cc. 5
	—	—	—	—
Diphtérie :				
Flacon *a*, vitesse d'écoul. 7 cc. 85 par minute	0	0	0	0
» *b* » 7 cc. 07 »	0	0	0	+
Témoin	+	+	+	+
Peste :				
Flacon *a*, vitesse d'écoul. 5 cc. 08 par minute	0	0	0	0
» *b* » 8 cc. 04 »	0	0	0	0
Témoin	+	+	+	+
Staphylocoque :				
Flacon *a*, vitesse d'écoul. 7 cc. 75 par minute	0	+	+	+
» *b* » 17 cc. 86 »	0	0	0	+
» *c* » 18 cc. 04 »	0	+	+	+
Témoin	+	+	+	+

Dans les résultats indiqués dans ces tableaux, le signe zéro indique que le bouillon est resté stérile, le signe +, au contraire indique qu'il y a eu culture du microbe correspondant, dont le caractère d'identité a été vérifié soit au microscope, soit par de nouvelles cultures.

On sait, en effet, que des contaminations accidentelles peuvent se produire.

Il est utile d'ajouter que dans ces expériences, les ensemencements du streptocoque furent faits dans du bouillon additionné de sérum sanguin liquide, milieu dans lequel ce microbe pousse plus abondamment. La même addition de sérum au bouillon fut faite pour les mêmes cultures diphtéritiques. Les chiffres accusent nettement l'action stérilisante de l'ozone: pour le streptocoque, ainsi que le démontre le premier tableau la destruction est complète. Dans le tableau VII, le B pesteux est détruit, le B diphtérique ne laisse que peu de survivants.

Le staphylocoque seul a peu souffert, il ne faut point s'en étonner, étant donnée la résistance de ce microbe.

Ces expériences démontrent que l'air ozonisé a une action antiseptique très puissante même sur les microbes qui résistent à la dessiccation.

Surtout, si l'on considère que dans les appareils imaginés par M. Rietsch, le barbotage de l'eau dans l'air ozonisé se fait forcément mal et beaucoup trop vite.

La stérilisation ainsi obtenue, nous paraît donc devoir être au-dessous de la vérité.

Etudions maintenant les germes pathogènes dont la propagation se fait généralement par l'eau. C'est surtout sur le B en virgule, sur le B d'Eberth et sur le coli, que doivent s'arrêter nos investigations.

C'est à ces agents infectieux que nous devons les nombreuses épidémies de choléra, de fièvre typhoïde et de fièvres gastro-intestinales dans les villes dont la salubrité des eaux n'est

pas suffisamment assurée. C'est dire l'importance que présente leur étude dans l'hygiène de l'eau. Les spirilles du choléra se rencontrent en grand nombre dans le contenu intestinal des individus ayant succombé à cette affection. Ils abondent surtout dans l'exsudat blanchâtre qui enduit la surface muqueuse de l'intestin grêle dans les cas suraigus à terminaison rapide.

Ils sont fréquemment mélangés aux diverses espèces qui pullulent dans l'intestin à l'état normal. Plus rarement, ils y existent seuls à l'exclusion complète de ces derniers.

Les épidémies de choléra se produisent et se propagent dans des conditions analogues à celles des épidémies de la fièvre typhoïde.

Les principaux facteurs sont : les matières fécales et le vecteur du germe est très fréquemment l'eau de boisson.

Le bacille du choléra est un aérobie vrai, facilement cultivable dans un milieu naturel, à condition que ce soit un milieu humide. La dessication, en effet, le tue très rapidement : en 2 ou 3 heures en couche très mince, en 24 heures en couche épaisse.

Le vibriom de Koch supporte difficilement la concurrence vitale. D'après Krauss, une eau qui renfermait 30 B quelconques, additionnée de 10.000 germes cholériques, ne contenait plus de germes cholériques après 48 heures.

La bactérie se cultive bien dans les eaux richement pourvues de matières organiques. Nicatti et Rietsch ont conservé en vie pendant 20 jours et plus, les spirilles du choléra dans l'eau du vieux port de Marseille, fortement salée et chargée en matières organiques.

Metchnikoff indique comme lieu d'élection le mélange suivant :

Eau : 100 grammes. — Peptone : 1 gramme. — Gélatine : 2 grammes.

La température la plus favorable à l'éclosion et au dévelop-

pement du germe est de 35 à 37°. Il résiste bien au froid et meurt à une température supérieure à 60°.

Quant à la recherche du vibrion de Koch dans l'eau, elle sera facilitée en ajoutant à l'eau 1 gramme de sel marin, 2 grammes de gélatine (milieu Metchnikoff) et en laissant 24 heures à l'étuve à 37°.

En procédant ensuite à un ensemencement sur gélose, on constatera la formation de colonies qui présentent un aspect transparent et gris brunâtre.

On pourra compléter la recherche par la réaction du choléra roth, quoique cette réaction se produise aussi avec d'autres vibrions dénommés paracholériques.

Les semences destinées à donner des cultures du B typhique peuvent être prises soit à l'autopsie dans un organe atteint, soit sur un typhique vivant.

Dans le premier cas, il est à recommander de choisir la rate où le microbe pathogène se trouve d'ordinaire en abondance et souvent seul, quand le moment de la mort n'est pas trop éloigné.

Sur le vivant, la ponction de la rate est la seule méthode qui puisse fournir de quoi ensemencer sûrement des milieux. Ce dernier procédé est peu applicable et dangereux pour le malade. Le B typhique est également contenu en grande quantité dans les excréments et les urines des malades. C'est par la dissémination des germes provenant des digestions des malades que se fait la propagation de la maladie. Les recherches de Vincent montrent que dans l'eau, quand l'aération est assurée, si le milieu est transparent et exposé à l'action du soleil, le microbe est tué au bout de 4 ou 5 heures ; seulement après 8 ou 9 heures, si le milieu est trouble.

Il n'est donc pas étonnant que la recherche du B d'Eberth dans les eaux potables donne souvent des résultats négatifs.

Bien des fois, la répartition des cas typhiques ne permet

aucun doute sur l'origine hydrique de la maladie, alors que l'isolement des germes ne donne que des résultats négatifs. Les germes ont donc disparu de l'eau avant que les symptômes de la maladie se soient manifestés. Le B typhique résiste à l'action du froid, sa vitalité par exemple persiste dans la glace produite par l'eau souillée. On connaît des épidémies causées par la glace alimentaire. Le germe est en revanche assez sensible à la chaleur. Une température de 60° le détruit.

Nous ne parlerons pas ici des procédés qui permettent la recherche du bacille typhique dans l'eau. Enumérons les 3 principaux :

1° Le procédé de la culture filtrante de Cambier.

2° Le gélo-diagnostic de Chantemesse.

3° Le procédé par la chaleur de Rodet.

Malheureusement tous ces procédés, quoique nombreux, ont le désavantage de n'isoler qu'imparfaitement le B typhique du colibacille.

Dans les anciennes observations, alors qu'on connaissait moins bien leur différence, il est probable qu'on a confondu plus d'une fois le premier avec le second.

Le colibacille présente à peu près les mêmes caractères ordinaires que le B d'Eberth. Quoique dans les conditions ordinaires on ne puisse pas le considérer comme microbe bien dangereux, on ne peut cependant pas lui refuser un certain pouvoir pathogène.

On le trouve à l'état normal dans le tube intestinal. Chez l'enfant, il est à peu près pur avec le B lactique.

On le retrouve dans l'eau, dans le sol, dans les poussières, partout en un mot où les matières fécales ont pu pénétrer. Il est extrêmement répandu dans la nature. A peu près identique comme forme au B d'Eberth, il présente une vitalité beaucoup plus considérable. Il pullule dans les eaux surchargées de matières organiques, mais s'accommode mal des eaux trop

pures. La température la plus favorable à son développement est approximativement de 36 à 37°.

Tels sont, brièvement résumés, les divers caractères qui distinguent et différencient les 3 germes pathogènes de l'eau à la fois les plus communs et les plus redoutables. C'est surtout contre eux que doit se faire une stérilisation bien comprise. Il est donc capital de connaître la propriété germinicide de l'ozone à l'égard de ces bactéries.

De nombreuses expériences ont été faites à ce sujet. Ohlmüller avait déjà indiqué dans ses travaux de 1891, combien le colibacille et le B d'Eberth sont sensibles à 'influence antiseptique de l'ozone.

Les recherches de Van Ermengen se portèrent spécialement sur le colibacille. Les essais furent faits au laboratoire de Oudshoorn. L'eau du vieux Rhin fut recueillie après filtrage dans un réservoir de 200 litres environ. Elle fut additionnée d'une centaine de centimètres cubes d'une émulsion obtenue en introduisant dans de l'eau distillée le produit de 10 cultures bien développées de B. coli sur gélose. On se servait pour l'ozonisation des appareils ordinaires. Rien ne fut changé dans leur fonctionnement. Voici le tableau des résultats :

VIII

Van Ermengen :

Appareil moyen : capacité, 59 litres ;
Nombre de colibacilles par cc. 7,830,000 ;
Quantité de permanganate par litre :
Avant l'addition des cultures : 0,020 grammes ;
Après addition des cultures : 0,027 grammes ;
Concentration de l'ozone : 3,94 millgr. par litre ;
Durée du contact : 10 minutes environ ;
Débit de l'appareil : 2 litres par minutes ;

Échantillons n°	1 .	8 jours, 10°	20 jours, 20°	25 jours, 32°
—	2 .	—	—	—
—	3 .	—	—	—
—	4 .	—	—	—
—	5 .	—	—	—
—	6 .	—	—	B. subtilis
—	7 .	—	—	—
—	8 .	—	—	—
—	9 .	—	—	B. Subtilis
—	10 .	—	—	B. Subtilis
—	11 .	—	—	Bacille ?
—	12 .	—	—	—

Comme on le voit dans ce tableau, les résultats de l'ozonisation sont des plus satisfaisants. Les plaques ensemencées avec ces cultures fournissent simplement pour 3 échantillons du B subtilis. Une autre donne également un B sporulé formant des colonies blanchâtres non liquéfiantes. Aucune de ces cultures ne fournit une seule colonie d'un microbe ressemblant au B coli.

Les essais (au nombre de 11) faits concurremment à ceux de M. Ermengen par M. Van der Sleen, donnèrent des résultats identiques. « Conservées 4 semaines à la température moyenne.

les plaques roulées n'ont montré aucune apparence de végétation bactérienne. »

Les expériences accomplies par la commission consultative de la Seine arrivent à des résultats semblables.

On sait que les eaux de Seine sont très contaminées. Les colibacilles s'y trouvent en grand nombre. Elles contiennent à peu près constamment des cultures naturelles de ces germes. Après l'ozonisation des eaux, l'analyse ne décèle plus les traces de cet organisme. Les résultats publiés dans le rapport du Comité consultatif de l'hygiène, que nous avons déjà cités, le démontrent clairement.

M. Rietsch, grâce à la méthode que nous avons déjà décrite (voir tableau VI) a lui aussi étudié le pouvoir bactéricide de l'ozone vis-à-vis du coli.

Nous rappelons que le signe o indique que le bouillon est resté stérile, tandis que le signe + signifie qu'il y a une culture correspondante.

Les résultats obtenus sur le B. typhique et le vibrion de Koch ne sont pas moins probants.

Quelle démonstration est plus concluante que celle fournie par la ville de Paderborn ?

Cette ville est est alimentée depuis plus de trois ans par de l'eau ozonisée.

Lors de la grande épidémie de fièvre typhoïde, dénommée épidémie de Gelsenkirchen, Paderborn ne fut pas atteint.

Sur la carte représentative, elle resta comme une tache blanche au milieu d'une large étendue noire.

Il se peut que les conditions de Paderborn fussent particulièrement favorables à la circonstance et qu'une simple filtration soit arrivée à un même résultat.

Mais il reste un fait indéniable : lors d'une épidémie de fièvre typhoïde, Paderborn était alimentée par une eau épurée par ozone et Paderborn ne fut pas atteint.

D'autres exemples nous sont également fournis par la pratique. C'est ainsi que, dans les analyses faites à l'installation de Ginneken et Telfringken près de Bréda, on n'a jamais pu retrouver dans les eaux épurées ni colibacille, ni B. d'Eberth, alors que ces bactéries existaient d'une façon constante dans les eaux brutes.

Les essais de Saint-Maur, de Philadelphie, de Rotterdam confirment les précédents.

M. Rietsch, poursuivant ses recherches suivant la même méthode décrite, a également reconnu que l'eau ozonisée ne contenait jamais ni des germes typhiques, ni des vibrions cholériques.

IX

Expérience sur le bacille typhique. — Concentration 5,36

Observations continuées pendant 8 jours à 37°. Ensemencements faits 5 heures après la sortie de l'eau de l'appareil)

	Quantités d'eau ensemencées en bouillon			
	Une anse	Une gout.	1/2 cc.	2 cc. 5
1er Flacon correspond. à un débit de 27 cc. 75 par minute . . .	0	0	0	0
2e » » 28, 7 »	0	0	0	0
3e » » 91, 25 »	0	0	0	0
Témoin	+	+	+	+

X

Expérience sur le microbe du choléra. — Concentration 5,36

(Observations continuées pendant 8 jours à 37°)

	Quantités d'eau ensemencées en bouillon			
	Une anse	Une gout.	1/2 cc.	2 cc. 5
1er Flacon correspondt à un débit de 43 cc. par minute	0	0	0	0
2e » » 44, » »	0	0	0	0
3e » » 47, 5 »	0	0	0	0
4e » » 50, 5 »	0	0	0	0
5e (*) » » 52, » »	0	+	+	+
6e » » 64, » »	0	0	0	+
7e (*) » » 65, 25 »	0	+	0	+
8e (*) » » 68, 5 »	0	0	0	0
9e » » 71, 5 »	0	0	0	0
10e » (*) » 78, 25 »	0	0	0	+
11e » » 85, » »	0	0	0	0
12e » (*) » 86, 5 »	0	0	0	+
13e (*) » » 92, 5 »	0	0	+	+
Témoin	+	+	+	+

(*) Flacons ensemencés de suite (à peu près 1/2 heure) après la sortie de l'eau de l'appareil ; les autres ont été ensemencés seulement 5 heures plus tard.

Les résultats qu'il a obtenus sur le B. en virgule ne sont pas entièrement satisfaisants. Mais il faut se rappeler qu'avec l'appareil minuscule qu'il emploie, il est impossible d'avoir une répartition régulière de l'eau et d'éviter la formation de veines dans lesquelles le liquide ne reçoit qu'un contact très imparfait.

Les expériences de Schüder et Proskauer sont concluantes à cet égard.

Il s'agissait d'eau très chargée en bactéries pathogènes et contenant notamment des B. virgules. L'eau fut traitée par des appareils Siémens et Halske.

Les ensemencements de 20 litres de ce liquide traité donnèrent des résultats négatifs pourvu que la concentration s'élevât de 3,4 à 4 grammes par mètre cube d'eau et que l'air ozoné circulât avec une rapidité de 25 mètres cubes à l'heure, l'eau circulant avec une rapidité de 8 minutes et demie à 9 minutes par mètre cube.

Ohlmuller et Prall ont également étudié l'action de l'ozone sur les microbes pathogènes, le choléra et la fièvre typhoïde. Leurs expériences préliminaires ont été faites avec des appareils de laboratoire. Les suivantes avec l'installation même de Martinikenfeld. Dans ces deux cas, ils ont pu s'assurer de la disparition complète du vibrion cholérique et du B. d'Eberth, bien qu'ils aient eu recours pour leurs recherches à des méthodes d'enrichissement.

Ainsi donc, comme on le voit par ces divers résultats, la purification des eaux par l'ozone paraît être entièrement satisfaisante.

Quelques points cependant doivent être éclaircis avant de tirer des conclusions définitives. Il se pourrait, en effet, que tous les germes ne soient pas atteints individuellement par l'ozonisation. Certains germes, passant ainsi de temps à autre, viendraient ensemencer l'eau stérilisée et y pulluler de nouveau.

Pour répondre à cette question, il suffit de prendre des eaux ozonisées depuis un certain nombre de jours et de procéder à des ensemencements. Ces expériences faites par la Commission de Lille et de la Seine démontrent que l'eau, trois ou quatre jours après l'ozonisation, fournissait des résultats à peu près identiques à ceux obtenus sur l'eau analysée immédiatement.

Il est de plus à noter que les quelques germes qui restent sont tous atteints et incapables de se reproduire, fait que l'on peut expliquer si l'on se souvient que l'eau ozonée est un milieu relativement peu nutritif par suite de la destruction d'une certaine partie des matières organiques par l'ozone.

Nous ajouterons enfin que l'eau ozonée ne renferme plus après ce traitement aucune substance antiseptique capable de stériliser des germes sains qu'on vient à y introduire.

On doit ajouter que la pauvreté de l'eau ozonée en substances nutritives est une garantie de plus pour l'alimentation.

L'ozonisation de l'eau offre donc un moyen certain de rendre l'eau inoffensive et de protéger ainsi les grandes agglomérations des épidémies cholériques et surtout de la fièvre typhoïde, qui, dans certaines villes, restent à l'état endémique et les menacent sans cesse, suivant l'expression de M. Rietsch, ainsi qu'une épée de Damoclès.

CHAPITRE II

ETUDE CHIMIQUE DE LA STERILISATION DE L'EAU PAR L'OZONE

L'ozonisation de l'eau est soumise à un certain nombre de transformations d'ordre physique ou chimique qu'il importe tout d'abord d'examiner avec méthode.

Une eau ne vaut pas seulement par sa plus ou moins grande stérilisation et par le moindre nombre de germes qu'elle contient. Il faut qu'elle possède aussi certaines qualités à la fois nutritives et digestives qui la rendent particulièrement propre à l'alimentation.

Il est important de connaître les éléments qui la constituent, le volume des gaz qui se trouvent en solution, la quantité des corps solides, métaux, métalloïdes et matières organiques qui rentrent dans sa formation, ainsi que les rapports suivant lesquels se fait leur combinaison.

Cela ne suffit pas encore. Il faut que l'eau, pour qu'elle soit potable, présente en outre des qualités en quelque sorte extérieures. Elle doit être agréable à nos sens, sa fluidité et sa limpidité doivent flatter notre vue. Sa saveur doit rafraîchir et désaltérer notre palais ; notre odorat ne doit lui reprocher aucune odeur nauséeuse.

L'eau ozonée satisfera-t-elle à ces nombreuses exigences ?

La question est complexe en elle-même. Il importe de la résoudre ou du moins de l'aborder avec le plus de méthode possible.

Nous avons donc pensé qu'il serait utile, avant de commencer cette étude des modifications chimiques, de dresser un plan indiquant d'une façon suffisante les problèmes que nous chercherons à résoudre. Nous étudierons tout d'abord : 1° les modifications quantitatives de l'eau stérilisée sous l'action de l'ozone ; 2° les nouveaux éléments dont la présence est due à l'ozonisation ; 3° ce que devient l'ozone après l'ozonisation de l'eau ; nous étudierons les lois qui règlent ce mélange, et suivant lesquelles il s'effectue ; 4° nous indiquerons enfin les diverses méthodes que l'on peut employer pour effectuer le dosage de l'ozone et déterminer son degré de concentration.

On est frappé lorsque l'on examine les tableaux d'analyse empruntés aux divers rapports parus sur la question, du peu de différence que présente la composition de l'eau déjà traitée par l'ozone d'avec celle non encore soumise à la stérilisation. Il serait cependant exagéré de dire que l'air ozonisé ne produit aucune modification dans la composition constitutive de l'eau. Mais ces modifications sont extrêmement peu marquées. On pourrait aisément s'en rendre compte en parcourant les tableaux reproduits ci-dessous : ils sont extraits des rapports officiels publiés par les commissions de Lille, de Nice et de Paris. Ces commissions ont été chargées d'étudier sur place la valeur réelle de cette nouvelle méthode de stérilisation.

XI

Tableau de Van Ermengen (Analyse d'Oudshoorn)

	Analyse du 2 mai		3 mai		4 mai			
	AvO	ApO	AvO	ApO	AvO	ApO		
Résidu fixe à 180°	0,468	0,454	0,466	0,420	0,471	0,414	0,354	0,352
Perte en rouge. .	0,067	0,059	0,069	0,059	0,069	0,056	»	»
Chlorure	0,105	0,105	0,111	0,105	0,105	0,103	»	»
Ammoniaque alb.	0,00044	0,00055	0,00042	0,00055	0,00045	0,00051	0,00025	0,00031
— libre.	0,00036	0,00036	0,00024	0,00025	0,00023	0,00036	0,00032	0,00029
Nitrite	0	0	0	0	0	0	0	0
Nitrates.	0,0053	0,0057	0,0054	0,0056	0,0050	0,0048	0,0024	0,0026
Permanganate .	0,062	0,032	0,060	0,032	0,068	0,035	0,028	0,015

XII

Analyse chimique des eaux d'Emmerin

Analyse chimique des échantillons d'eau prélevés le 12 décembre 1898

	EAU non traitée par litre	EAU ozonée par litre
	gr.	gr.
Matières organiques (évaluées en acide oxalique)	0,914	0,003
d° (en oxygène, procédé A. Lévy)	0,00088	0,00080
Azote nitrique (en nitrate de potasse, procédé Schlœsing) .	0,034	0,030
d° (procédé Grandval et Lajoux)	0,020	0,019
Azote nitreux (par la métaphénylène-diamine).	0	0
d° (par la résorcine)	0,0005	0,003
Ammoniaque (par le réactif de Nessler).	0	0
Oxygène dissous	9mmg 7	9mmg 8

XIII

Analyses chimiques faites au Bureau d'Hygiène de Nice
sur l'eau brute et sur l'eau ozonée, prise au sortir de la galerie

(Les résultats sont exprimés en milligrammes et par litre)

	22 août		23 août		24 août		25 août	
	EAU		EAU		EAU		EAU	
	brute	ozon.	brute	ozon.	brute	ozon.	brute	ozon.
Concentration d'Oz. . .		2,58		2,4		2,4		2,54
Degré hydrotimétr. . .	18	18	19	19	18,5	18,5	19,5	19,5
Mat. organ. en sol. ac. .	2,53	1,68	2	1,5	2,5	1,8	2,1	1,6
» » alc	2,53	1,68	1,5	1,5	2	1,5	1,7	1,4
Réduction . . .		34 %		25 %		28 %		24 %
Chlore	35	30	20	20	18	18	19	19
Azote nitreux.	0	0	0	0	0	0	0	0
Id. nitrique.	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces	traces
Id. ammoniacal . . .	traces	0	traces	0	traces	0	traces	0
Oxyg. diss. en poids . .	7,14	7,85	8,47	10,02	7,34	7,95	7,56	7,65g.
Id. id. en vol. . .	4,96	5,46	5,89	6,97	5,10	5 53	5,26	5,32cc
Aspect.	troub.	clair	très troub.	clair	louch.	clair	louch.	clair

	26 août		28 août		29 août	
	EAU		EAU		EAU	
	brute	ozonée	brute	ozonée	brute	ozonée
Concentration.		2,7		2,87		6,1
Degré hydrotimétrique .	19,5	19,5	19	19	19	19
Mat. organ. en sol. ac. .	2,3	2.	2,3	2	2,4	2,1
» » » alcal .	1,9	1,9	1,8	1,7	2	2
Réduction		13 %		13 %		13 %
Chlore	17,5	17,5	18,5	18,5	18,3	18,3
Azote nitreux.	0	0	0	0	0	0
» nitrique	traces	traces	traces	traces	traces	traces
» ammoniacal. . .	traces	0	traces	0	traces	0
Oxygène dissous en poids	7,6	7,9	7,25	7,4	8,17	8,45 gr.
» » en volume	5,28	5.49	5,04	5,15	5,68	5.88 cc.
Aspect	très trouble	clair	louche	clair	louche	clair

XIV

RÉSULTATS DES ANALYSES CHIMIQUES

Eau de l'Avre

Débit de l'eau =.	396 litres à l'heure	Forte concentration =.	15 milligrammes d'ozone par litre
— l'air ozoné = ...	285 —	Faible — =.	3 milligr. 5 —

	EAU DE L'AVRE			
	BRUTE.	au sortir de L'ÉMULSEUR (forte concentration)	au sortir de la COLONNE (forte concentration)	ÉMULSEUR — faible concentration
Degré hydrotimétrique total	22,5	22,5	22,5	23,0
Chlorures (en chlore, Cl)	0,007	0,007	0,007	0,007
Nitrates (en acide nitrique $Az^2 O^5$)	0,012	0,012	0,012	0,012
Nitrites (en acide nitreux)	0,000	0,000	0,000	0.000
Matières organiques en oxygène. — dosage en solution acide	0,0008	0,0007	0,0004	0,0004
Matières organiques en oxygène. — dosage en solution alcaline	0,0012	0,0008	0.0005	0,0005
Oxygène dissous, en poids	0,0041	0,0044	0,0048	0.0046
Sels ammoniacaux	0,00	0,00	0,00	0.00



XV

Eau de Seine

Débit de l'eau = ... 396 litres à l'heure | Forte concentration =. 15 milligrammes d'ozone par litre
— l'air ozoné =. . . . . 285 — | Faible — =. 3 milligr. 5 —

	EAU DE SEINE			
	BRUTE	au sortir de L'ÉMULSEUR (forte concentration)	au sortir de la COLONNE (forte concentration)	ÉMULSEUR — faible concentration
Degré hydrotimétrique total	23,0	22,0	21,0	22,0
Chlorures (en chlore, Cl)	0,010	0,010	0,010	0,010
Nitrates (en acide nitrique $Az^2\ O^5$).	0,010	0,010	0,010	0,010
Nitrites (en acide nitreux).	0,00	0,00	0,00	0,00
Matières organiques en oxygène. { dosage en solution acide	0,0018	0,0012	0,0012	0,0012
Matières organiques en oxygène. { dosage en solution alcaline.	0,0011	0,0012	0,0012	0.0010
Oxygène dissous	0,0044	0,0048	0,0044	0,0040
Sels ammoniacaux . . . . i	0,00	0,00	0,00	0.00

Ces analyses nous permettent tout d'abord de constater que les modifications de l'eau ozonée portent sur les corps organiques et laissent à peu près indemnes les métaux et métalloïdes. Cette diminution des matières organiques semble surtout porter sur celles qui sont réduites par le permanganate en solution acide.

Il ne semble pas cependant que l'on puisse attribuer entièrement cet effet à l'action de l'ozone. La matière organique des eaux est généralement assez stable, elle a déjà résisté à l'action oxydante de l'air et ce n'est pas la quantité relativement faible d'ozone, agissant quelques secondes à la température ordinaire, qui peut brûler une grande partie de ces matières organiques.

Quoi qu'il en soit, la teneur en matières organiques exprimée en bloc par le chiffre de permanganate réduit, est moins considérable dans l'eau qui a été ozonisée. Elle diminue dans des proportions atteignant souvent le 50 et 60 % de la quantité primitive. Il semblerait en outre d'après les tableaux d'analyse publiés par Van der Sleen sur les eaux du vieux Rhin à Oudshoorn, que l'ammoniaque dit albuminoïde évaluée par le procédé Wanklyn se trouvait en augmentation dans l'eau ozonisée. D'après le docteur Van Ermengen, cette augmentation s'expliquerait par ce fait que le dosage de l'ammoniaque soi-disant albuminoïde décélerait surtout la présence de produits résultant de la destruction la plus avancée des matières albuminoïdes, ces corps amidés qui résistent particulièrement à l'oxydation en solution acide. M. Van der Sleen croit simplement que cette augmentation est purement accidentelle. Il était aussi intéressant de constater : 1° le rapport qui existe entre la quantité des substances organiques contenues dans l'eau et la quantité de ces matières transformées par l'ozone ; 2° l'influence de la concentration plus ou moins grande de l'ozone

sur la transformation des corps organiques contenus dans une même eau donnée.

En un mot, déterminer les relations possibles entre la quantité de matières organiques contenue dans l'eau ozonée et de la quantité d'ozone employée pour sa stérilisation. Suivant les résultats acquis par de nombreuses analyses, il semblerait ac-

résultats acquis par de nombreuses analyses, il semblerait que le déchet des matières organiques devrait être proportionnel à la quantité de celle contenue dans les eaux brutes.

Par contre, le degré de concentration de l'air ozonisé semble n'avoir qu'une influence médiocre sur la réduction de ces substances.

Les expériences que nous avons reproduites d'après le rapport fait par la commission de l'hygiène publique de France, nous semble assez probante à cet égard. Pour le premier tableau on se servit d'une forte concentration d'ozone (15 milligrammes par litre d'air). Dans le deuxième, le titrage était beaucoup plus faible (3 milligrammes 5 seulement), la durée de concentration était sensiblement la même. Les échantillons furent pris, soit à la sortie des émulseurs, soit à la sortie des colonnes de stérilisations. On put ainsi se rendre compte de l'influence de la durée du contact pour une même concentration et du degré de concentration de l'ozone sur les éléments constitutifs de l'eau (tableaux 14 et 15) *Rapport sur l'hygiène publique.*

De ces tableaux, on peut conclure :

1° Qu'une faible proportion d'ozone suffit pour diminuer d'une façon assez sensible la quantité des résidus organiques contenus dans les eaux de l'Avre et de la Seine ;

2° Il est cependant à remarquer que la concentration de l'ozone employée modifie fort peu les chiffres obtenus pour une même durée de temps ; dans certains cas même l'ozone

à de faibles concentrations paraît avoir une action plus énergiquement réductrice. Nous nous contenterons de constater le fait sans en rechercher la cause.

Nous pourrons cependant remarquer que le déchet des éléments organiques, déjà sensible au sortir des émulseurs, augmente généralement durant le passage de l'eau à travers les colonnes de stérilisation. Enfin, l'on remarquera qu'il existe dans toute eau ozonée un résidu de substances organiques irréductibles, même lorsque la quantité d'ozone employée est trop considérable.

Il convient d'ajouter, d'après le docteur Roux, que ce résidu organique ne renferme ni bactéries ni toxines.

Les corps inorganiques paraissent encore moins influencés par l'ozone que les substances organiques. La plupart même échappent à son action.

Il en est ainsi des sels nitreux et nitrique qui ne sont ni augmentés ni diminués de valeur après la stérilisation.

Lorsque les eaux sont trop chargées en chlorures, l'ozone semble produire une légère diminution de ces sels.

Il faut enfin constater que l'ozonisation augmente la quantité d'oxygène contenu dans l'eau, mais dans des proportions beaucoup moins considérables qu'on pourrait tout d'abord le présumer.

Ces résultats d'analyse sont, comme on le voit, des plus satisfaisants, ils ne peuvent cependant suffire à nous assurer l'innocuité de l'eau traitée.

Le premier avantage que doit présenter un procédé de stérilisation est avant tout de n'introduire dans l'eau aucune substance étrangère pouvant être à la longue préjudiciable à la santé des consommateurs. Le fait d'introduire dans l'eau un composé chimique aussi actif que l'ozone ne peut-il amener dans sa composition quelque changement nuisible à la santé publique, en la rendant plus ou moins potable.

Ne peut-il se former de l'eau oxygénée dont un long usage, même à très faible dose, est considéré par les hygiénistes comme pouvant présenter quelques inconvénients, ainsi qu'il ressort des clauses du projet d'installation de ce mode d'épuration des eaux de la ville de Nice. L'ozonisation ne peut-elle entraîner la présence dans l'eau de composés azotés, tels que nitrite ou nitrate, dont l'absorption prolongée serait peut-être nuisible. Enfin, l'ozone lui-même, gaz fatalement irritant par sa dissolution dans l'eau ne peut-il provoquer à la longue l'inflammation du tube digestif ?

Tels sont les quatre cas que nous allons passer en revue :

1° Présence d'eau oxygénée ;

2° Présence de composés nitreux ;

3° Présence de composés ferriques ;

4° D'ozone dissous.

Bien qu'il n'y ait encore que peu d'installations importantes d'eau ozonisée, des expériences nombreuses ont été faites à ce sujet et montrent l'innocuité des eaux traitées par l'ozone. Nous avons déjà dit que l'ozone pouvait donner, par suite de son contact avec l'eau une hyperoxydation et amener la formation d'eau oxygénée.

Les nombreuses expériences de Schöbein, Engler et Muller et d'autres savants montrent que le mélange de l'ozone avec l'eau peut produire un dégagement de péroxyde d'hydrogène.

Nous constaterons toutefois que l'analyse n'a jamais décelé que la présence de traces infimes de ce composé.

On sait que la réaction la plus sensible pour la recherche de l'eau oxygénée est basée sur l'emploi de l'anhydride chromique.

Il suffit de quelques gouttes dans une solution très étendue d'eau oxygénée, pour voir paraître aussitôt une belle coloration bleu fugace.

La matière colorante est soluble dans l'éther.

Cette réaction essayée maintes fois au robinet de stérilisation, durant les essais de la ville de Nice, n'a jamais donné une coloration bien caractéristique.

Il est de même très rare, malgré tout ce qu'on a prétendu, qu'il se produise dans les ozoniseurs des quantités même minimes de produits azotés, lorsque l'électrisation a été bien conduite.

Jamais, même dans les premières expériences, faites avec le procédé Siémens et Halske, les nitrites n'ont existé en quantité pondérable.

Certaines précautions cependant doivent être prises.

L'augmentation des produits nitreux, que l'on constate dans certaines analyses, est surtout dû à la formation d'arcs électriques et d'étincelles qui ont pour cause la formation d'un court-circuit.

C'est pour cette raison que l'on ne doit accorder sa confiance qu'aux appareils qui ont déjà fonctionné et dont les résultats ont été soumis à de nombreuses analyses. Le pouvoir oxydant de l'ozone peut enfin s'exercer sur les composés ferriques.

Sous l'action de ce gaz, il se produit des oxydes ferreux et ferriques qui rendent l'eau imbuvable. On ne pourra alors pratiquer l'ozonisation que lorsqu'on aura débarrassé les eaux stérilisées des sels de fer qu'elles contiennent.

Quant à l'ozone, gaz irritant, dont l'absorption prolongée pourrait présenter quelques inconvénients pour l'hygiène publique, il ne forme jamais avec l'eau que des mélanges instables.

Il semblerait cependant au premier abord qu'une très petite quantité de ce gaz pourrait rester mélangée à l'eau pendant les premières heures qui suivent son prélèvement. On s'expliquerait ainsi qu'une eau conservée des 12, 24 et 36 heures dans

un laboratoire, reste et même devienne parfois proportionnellement plus pauvre en germes que très peu de temps après la prise des échantillons. Il n'en est rien cependant, car quelques secondes d'aération suffisent pour mettre le gaz en liberté et en faire disparaître même les traces du liquide stérilisé, à l'encontre des autres procédés chimiques qui laissent toujours dans l'eau traitée, en dilution plus ou moins étendue, une substance forcément caustique, capable de produire à la longue des lésions organiques.

L'opinion que nous venons d'émettre s'appuie sur les résultats publiés par de nombreux expérimentateurs.

Van Ermengen et Van der Sleen, confirmant en cela les études de Siémens et Halske, recherchèrent dans les nombreux échantillons d'eau stérilisée, ce que devenait l'ozone après le traitement.

Les réactifs les plus sensibles, 12 ou 14 heures après l'ozonisation, démontrent la disparition complète de ce gaz.

La commission chargée du rapport de la stérilisation industrielle des eaux potable par l'ozone, arrive, dans son rapport présenté à la municipalité de Lille, à des conclusions entièrement semblables, grâce à des procédés tous différents.

Voici le résumé de ces expériences : 373 centimètres cubes d'eau ozonée, prélevés le 23 janvier 1899, et conservés pendant 3 jours au laboratoire, furent ensuite mélangés à 68 centimètres cubes d'eau brute, prélevée le 26 du même mois. Le même mélange fut ensemencé le 28, soit après 3 jours de contact, à la dose de 0,1 centimètre cube, dans des matras de gélatine nutritive.

La numération des colonies, effectuée après 6 jours de culture, à 23°, donne 1340 germes par centimètre cube.

Le résultat démontrait donc que l'eau stérilisée ne renfermait plus aucune substance antiseptique, telle que l'ozone,

capable de stériliser les germes de l'eau non ozonée, avec laquelle on l'avait mélangée et d'empêcher leur pullulation.

Au cours de ces recherches, la commission consultative d'hygiène de France, reprenant la même question, reconnut avec quelle rapidité se faisait la désozonisation du liquide. A plusieurs reprises, de l'eau stérilisée de l'Avre et de la Seine fut recueillie dans des tubes et des flacons passés à l'autoclave. On procéda ensuite à un ensemencement avec une goutte d'eau de Vannes pour 10 centimètres cubes.

Après 48 heures, les cristallisoirs de gélatine nutritive, avec 0.05 centimètres cubes de cette eau, donnaient un nombre considérable de germes.

L'eau traitée ne possédait plus de propriétés bactéricides.

Une des clauses du contrat intervenu entre la ville de Nice et la Compagnie française de l'ozone, exige que l'eau stérilisée ne contienne plus de traces d'ozone à la sortie du réservoir de Bon-Voyage.

La commission chargée du rapport de la stérilisation des eaux, fut donc amenée à s'assurer que cette clause était remplie.

A la sortie des émulseurs, elle constata une certaine quantité d'ozone ; traitée immédiatement par le réactif iodo-ioduré, en présence d'empois d'amidon, elle produit aussitôt une réaction d'un bleu intense.

La même expérience, répétée sur l'eau prélevée à la sortie des galeries, ne donne plus de coloration bleue, ce qui démontre que toute trace d'ozone a disparu.

On peut donc affirmer que l'eau ozonée ne possède pas de pouvoir bactéricide, c'est un liquide stérilisé, non stérilisant. Question primordiale lorsqu'il s'agit d'eau réservée à l'alimentation.

Qu'on sait, en effet, qu'un liquide stérilisant introduit dans l'organisme pourrait causer les plus grands désordres en s'op-

posant aux fermentations multiples qui concourent à l'assimilabilité des aliments, en détruisant les nombreux germes et levures dont l'action est nécessaire au chimisme de l'alimentation, en coagulant les diverses diastases indispensables à la transformation des matières nutritives.

On doit, du reste, constater que si l'ozone est relativement soluble dans l'eau, sa solubilité n'en est pas moins très faible.

Le gaz est absorbé assez difficilement par l'eau ; il ne dépasse guère la surface du liquide.

Ce n'est qu'en le divisant à travers des cailloux et des graviers et en multipliant ainsi la surface de contact, que l'on obtient un mélange momentané. L'ozone ne peut traverser qu'une masse très restreinte de liquide.

Schuder et Proskauer ont démontré, dans leur travail sur les appareils Siémens et Halske que l'efficacité de la stérilisation était d'autant plus complète que le gravier des colonnes était plus fin et se prêtait davantage à fractionner le liquide.

Avant de terminer cette étude chimique de l'Ozone, nous rappellerons sommairement les diverses méthodes pratiques permettant de reconnaître et de doser la quantité d'ozone en combinaison dans l'air et dans l'eau.

Il est en effet de toute évidence qu'un produit qui ne peut être quantifié d'une façon à peu près certaine n'est guère utilisable. Il faut reconnaître qu'en ce qui regarde l'ozone, le problème présente d'assez grandes difficultés. Nous nous contenterons ici d'énumérer et d'exposer les différentes méthodes, nous contentant d'indiquer la valeur pratique de chacune d'elles.

Il faut tout d'abord signaler la réaction de Schœnbein.

Ce savant proposait de déterminer quantitativement l'ozone, en agitant avec de la teinture d'indigo la masse d'air ou d'oxygène ozoné qu'il voulait soumettre à une analyse.

Cette teinture était titrée de façon à ce que 18 grammes fussent décolorés par 1 milligramme d'ozone.

Ce procédé est peu recommandable, il ne donne que des résultats précaires et inconstants, auxquels on ne peut ajouter foi.

Bunsen propose un procédé ingénieux ; c'est une réaction générale qui peut s'appliquer pour le dosage de tous les corps oxydants.

Sous l'action de l'air ozoné, mis en présence d'une solution d'iodure de potassium, l'iode est mise en liberté et il y a formation de potasse :

$$H^2O + O^3 + 2\,KI = I^2 + KOH + O^2$$

Il ne reste plus qu'à doser soit l'iode, avec de l'hyposulfite de soude, soit la potasse, par un titrage alcalimétrique.

Cette réaction n'est pas aussi simple qu'elle le paraît.

L'expérience montre la difficulté de son application. Dès qu'une bulle d'air ozonisé traverse la solution, il se produit un dégagement d'iode qui, sitôt mis en liberté, réagit à son tour sur la potasse et forme avec cette dernière de nouvelles combinaisons : iodite, hypo-iodite, iodate et périodate de potassium. Il arrive même que l'on régénère une certaine quantité de l'iodure primitif. Toutes ces formations complexes faussent les résultats, au point de leur enlever toute valeur.

On peut cependant remédier à cet inconvénient lorsqu'on emploie la méthode de Bunsen, modifiée par Houzeau, dans laquelle on opère l'absorption de la potasse mise en liberté par un acide titré en excès.

Il suffit pour cela d'ajouter à la solution d'iodure de potassium un volume de solution faible d'acide sulfurique correspondant au maximum de sulfate acide de potasse, qui peut

être formé par la potasse mise en liberté par la réaction, et l'on aura :

$$H^2O + 2\,KI + O_3 + 2\,SO^4\,H^2 \quad 2\,SO^4\,KH + I^2 + O^2 + 2\,H^2O$$

On peut alors doser, soit en titrant la potasse produite, soit en déterminant la quantité d'iode mise en liberté. Voici pratiquement comment l'on opère : Dans 10 centimètres cubes d'eau pure, contenant 0 gr. 0061 d'acide sulfurique monohydraté, capable de saturer 0 gr. 0059 de potasse, équivalent à 0 gr. 001 d'ozone, on ajoute 1 centimètre cube d'une dissolution d'iodure de potassium renfermant un maximum de 0 gr. 02 d'iodure. Le mélange est introduit dans un tube de Wil, puis on y fait barboter le courant de gaz ozonisé à analyser. L'oxydation terminée, on élimine par une ébullition de quelques minutes l'iode libre.

On peut alors évaluer la potasse mise en liberté par décomposition de l'iodure.

On le fait en ajoutant à la liqueur oxydée un peu de tournesol et en neutralisant l'acide sulfurique restant par une solution titrée. On peut également doser l'iode mis en liberté.

On fait alors agir une solution d'hyposulfite de sodium qui provoque la réaction suivante, dont la fin est marquée par la disparition de la coloration jaunâtre de l'iode libre.

$$2\,SO^2 <\begin{matrix} ONa \\ SNa \end{matrix} + I^2 = 2\,NaI + \begin{matrix} SO^2 < ONa \\ \quad S^2 \\ SO^2 < ONa \end{matrix}$$

Cette réaction indique que 158 grammes d'hyposulfite de sodium correspondent à 127 grammes d'iode.

Or, on sait que dans l'action de l'ozone sur l'iodure de potassium, 1/3 seulement de la molécule réagit, les deux autres tiers étant simplement ramenés à l'état d'oxygène ordinaire.

Il faudra donc 24 grammes d'ozone pour mettre en liberté 127 grammes d'iode. Suivant la formule établie par Otto, 1 centimètre cube d'une solution contenant par litre 158 : 24=6 gr. 583 d'hyposulfite de soude pur, équivaudra à 1 milligramme d'ozone.

Nous ne parlerons pas ici des diverses méthodes optiques et barométriques. Ce sont des procédés de laboratoires extrêmement délicats et inapplicables dans la pratique courante.

Nous signalerons simplement le procédé Thénard, qui emploie pour le dosage, la réaction de l'acide arsénieux.

On introduit l'oxygène ozoné que l'on veut analyser, dans un flacon jaugé par avance, on verse ensuite un volume déterminé d'une solution chlorhydrique titrée d'acide arsénieux ; on agite énergiquement le flacon, puis on ajoute 30 centimètres cubes d'acide sulfurique au centième et l'on titre l'acide arsénieux restant, au moyen d'une liqueur au permanganate de potasse.

Cette méthode ne peut s'appliquer que sur des masses faibles, très riches en ozone.

Ainsi qu'on le voit, il existe plusieurs procédés excellents pour doser l'ozone avec rapidité et exactitude.

Ainsi donc, de cette étude chimique de l'eau ozonée doivent se déduire des conclusions intéressantes.

1° L'ozone est certainement soluble dans l'eau, mais en très faible quantité.

2° Le mélange de l'ozone avec l'eau n'est pas stable. Quelques secondes après avoir été effectué, il n'est plus possible de déceler la plus faible trace dans l'eau traitée.

3° « L'ozonisation de l'eau n'apporte dans celle-ci aucun élément étranger préjudiciable à la santé des personnes appelées à en faire usage. Au contraire, par suite de son augmentation de la teneur en oxygène et la diminution considérable de la teneur en matières organiques, les eaux soumises au traite-

ment par l'ozone, sont moins sujettes aux pollutions ultérieures, et sont par suite beaucoup moins altérables. Enfin, l'ozone n'étant autre chose qu'un état moléculaire particulier de l'oxygène, l'emploi de ce corps présente l'avantage d'aérer énergiquement l'eau et de la rendre plus saine et plus agréable pour la consommation, sans lui enlever aucun de ses éléments minéraux utiles. »

(Rapport de M. Calmettes).

CHAPITRE III

ETUDE ORGANOLEPTIQUE

Il ne nous reste plus qu'à étudier les propriétés organoleptiques de l'eau ozonisée, c'est-à-dire son odeur, sa saveur et son aspect, comparée à l'eau brute et non encore traitée. Ici encore, l'ozonisation paraît avoir une influence favorable.

L'ozone agit avec succès contre les mauvaises odeurs.

Il est du reste employé usuellement pour enlever aux alcools leur odeur empyreumatique (alcool de grain, de pommes de terre, *Whiskey*).

Il est en outre un puissant décolorant. On peut notamment s'en servir pour le blanchiment des toiles.

Pour ce qui est de son action sur l'eau, nous ne pouvons mieux faire ici que de reproduire l'opinion émise par des savants expérimentateurs dont l'impartialité ne nous paraît pas pouvoir être soupçonnée.

Van Ermengen dans son article paru dans les « Annales de l'Institut Pasteur » en septembre 1895, examinant les eaux du Vieux-Rhin est frappé de l'amélioration qu'elles présentent dans leurs propriétés extérieures.

L'eau, affirme-t-il, au sortir des appareils n'est plus reconnaissable. Elle s'est dépouillée de sa saveur particulière et

de son odeur qui la rendait répugnante. Elle n'a plus aucun mauvais goût, et est rendue parfaitement potable. En outre, sa coloration jaune paille a disparu entièrement. L'eau ozonisée est limpide, brillante et sans coloration. Vue dans un tube en verre, sous une épaisseur de 60 centimètres, elle a la teinte de l'eau distillée.

De même, le docteur *Balestre*, de Nice ; « A Lille, nous dit-il, j'ai fait la comparaison entre l'eau ordinaire et l'eau épurée ; j'ai constaté que celle-ci donnait la sensation d'une fluidité plus grande et qu'elle ne présentait plus le léger goût qu'elle a ordinairement ».

Le rapport officiel du comité consultatif d'hygiène de France constate qu'après l'ozonation « les modifications organoleptiques se font dans un sens favorable. L'eau bue immédiatement est plutôt agréable au goût. L'ozone se décomposant instantanément au contact des cellules en oxygène, ne possède aucune saveur, et l'eau qui en contient donne plutôt sur les papilles gustatives une impression de légèreté ».

Même affirmation de la Commission d'enquête de la ville de Nice.

Au sortir de l'appareil, lit-on dans son rapport, l'eau ozonée présente une odeur marquée ; on l'a quelquefois comparée à celle du homard bouilli ; mais au bout de quelques minutes elle perd tout mauvais goût, n'a plus aucune odeur, la limpidité est parfaite.

C'est ce que nous avons constaté nous-même sur l'eau de Monaco.

Les cuisines de l'hôpital possèdent en effet des appareils à ozone pour la consommation domestique. Cette eau, que nous dégustons tous les jours, à peine sortie de l'appareil, ne nous a jamais paru présenter ni aucun goût, ni aucune odeur particulière. Elle semblait se recommander

au contraire par sa parfaite limpidité. On peut donc conclure que l'ozonisation constitue un excellent moyen pour enlever aux eaux de rivière le mauvais goût et des odeurs marécageuses qu'elles présentent parfois, et pour les dépouiller des matières humiques auxquelles elles doivent leur coloration jaune persistante.

CHAPITRE IV

LA CRITIQUE DE LA STÉRILISATION DES EAUX PAR L'OZONE

Malgré les nombreux et sérieux avantages que présente la stérilisation de l'eau par l'ozone, elle a cependant rencontré de très nombreux détracteurs.

Parmi eux, un certain nombre paraissent être volontairement prévenus contre le procédé ; il en est cependant dont la sincérité n'est pas contestable.

Nous aurions manqué d'impartialité si nous n'avions réuni ici les diverses objections qui ont été faites au nouveau système de stérilisation.

Une des premières critiques formulées contre ce procédé est la difficulté que l'on rencontre dans l'installation d'une usine d'ozonisation.

Cette installation exige des appareils compliqués, dangereux à manier, difficiles à conduire et à régler, et très coûteux dans leur acquisition comme dans leur entretien. Ce sont des machines à vapeur puissantes, un outillage des plus complexes, des pompes des ventilateurs pour insuffler l'air dans les ozonateurs, divers instruments électriques, des alternateurs produisant des courants de bas voltage, des transformateurs pour amener le courant de 180 volts, enfin des ozonateurs, appa-

reils délicats et fragiles, des tours de stérilisation des refroidisseurs, des déflagrateurs, dispositifs exigeant une construction soignée et ne donnant qu'une garantie précaire. Il faut aussi ajouter à cela la variation de la consommation considérable suivant les saisons. Les volumes d'eau distribués quotidiennement passent du simple en hiver au triple et même au quintuple en été dans les exploitations qui desservent les grandes villes et augmentent ainsi proportionnellement les frais d'installation.

A cela on peut répondre que cette augmentation de frais n'est pas aussi considérable qu'elle ne le paraît au premier abord. Elle porte sur l'installation elle seule et est enfin indispensable quel que soit le genre de stérilisation auquel on aura recours.

Nous ne discuterons point ici la valeur de ces divers arguments, cette discussion exigerait des connaissances techniques que nous n'avons pas.

Elle ne rentre pas dans le cadre de cette étude.

Nous nous contenterons de relater ici les résultats obtenus. Certaines usines, notamment celles de Paderborn, de la Brasserie Velten, marchent depuis plusieurs années sans qu'il se soit produit de contre-temps sérieux.

La seule chose à redouter est le bris des glaces des appareils diélectriques par suite de la haute tension du courant, encore cela arrive-t-il rarement.

Les dernières installations semblent avoir écarté toute crainte d'accidents.

Les frais d'installation et d'entretien paraissent aussi avoir été notablement exagérés.

M. Tindal, dans ses installations industrielles, qui sont les premières en date, arrivait à produire un gramme d'ozone avec 238 watts en 1897.

Le même procédé, repris par M. de Frise, n'exigeait plus que 140 watts.

142 watts suffiront à l'installation du Bréda.

Le procédé de Wottsmans, tel qu'il a été expérimenté en grand à Philadelphie, n'exigerait que 65 watts.

A Paderborn, où l'installation d'épuration des eaux fonctionne depuis plus de trois ans, la moyenne des moyennes est de 56,5 watts.

On est donc en pleine marche ascendante quant à la diminution de l'électricité nécessaire.

Voyons maintenant les forces motrices qu'exige l'installation d'une usine à ozonation.

D'après les chiffres relevés aux Brasseries de la Méditerranée, l'énergie développée à la source centrale de force motrice peut être évaluée à 1 hp. par contingent horaire de 10 mètres cubes d'eau stérilisée.

Pour des contingents journaliers de 200, 500 et 1.000 mètres cubes, consommation courante d'établissements comme ceux cités plus haut, et pour une exploitation de 10 heures par jour, la force requise serait de 5 à 10 hp.

Des appareils construits d'après le procédé de MM. Siémens et Halske, de Berlin, ont donné 3 milligrammes d'ozone par seconde et par hp.

D'après M. Marmier, les 62.000 mètres cubes par jour représentant la consommation actuelle de Marseille reviendraient environ à 314.000 francs par an.

L'installation permettrait en sus de satisfaire, si le besoin s'en faisait sentir, à une consommation supplémentaire de 56.000 mètres cubes par jour, à raison de 1 centime le mètre cube, les frais d'amortissement étant calculés par l'entrepreneur pour 15 ans.

D'après M. Otto, l'usine de stérilisation de Nice, qui dis-

pose de 175 hp. 42, peut ozoniser environ 260 litres à la seconde ou 937 mètres cubes 5 à l'heure.

De ces 175 hp. 42, il faut déduire l'énergie dépensée pour l'alimentation de l'eau, soit environ 6 chevaux 332.

D'après le docteur Erlwein, le coût d'un mètre cube d'eau pour une usine débitant environ 250 mètres cubes par heure est d'environ deux pfennigs par mètre cube, se décomposant ainsi qu'il suit :

	pfennigs	centimes
Coût de l'ozonisation	0.40	0.50
Frais de l'exploitation	1.00	1.25
Amortissement du bâtiment, matériel, machines, compté de 3 % à 10 %, et intérêts du capital engagé compté à 4 %	0.60	0.75

Dans ce calcul, il n'est pas tenu compte d'une installation de réserve.

En admettant une réserve de 50 %, on devra augmenter le prix du mètre d'eau ci-dessus indiqué de 0, 23 pfennigs.

En réalité, le prix de revient de la stérilisation de l'eau par l'ozone est variable suivant les circonstances, les lieux et le débit.

On peut néanmoins en donner des évaluations moyennes.

Il est subordonné tout d'abord au prix de revient coûtant de l'électricité.

Ce prix est assez difficile à établir, car il dépend de plusieurs inconnues.

Il est évident qu'un pays possédant des chutes d'eau aura sa force motrice à bien meilleur compte que celui qui serait obligé de se servir de charbon. On ne peut en donner qu'une évaluation moyenne.

On peut aussi admettre que le prix de revient s'abaisse à mesure qu'augmente la consommation.

Là où le kilowatt est vendu 80 centimes, il faut compter que les dépenses de production ne montent guère qu'à 20 ou 25 centimes, mais que le reste représente les frais d'intérêts et l'amortissement du capital.

Un des grands avantages de l'épuration de l'eau par l'ozone sera de permettre d'utiliser l'énergie électrique disponible à des heures de non-emploi pour la production de la lumière.

Supposons une agglomération où l'installation électrique pour l'éclairage a coûté un million et où cette installation ne travaillera que pendant 400 heures par an.

Le kilowatt devra être payé de 60 à 80 centimes. Si on arrive, en utilisant le matin l'énergie électrique, à augmenter les heures de travail, cette même ville, qui ne pouvait vendre son électricité qu'à 80 centimes, pourra la vendre à 30 centimes et fera une ecxellente affaire.

De même, certains établissements se servant de forces motrices pourront se servir d'eau ozonisée sans grand surcroît de dépenses.

Pour ce qui est de la difficulté que l'on rencontrerait à s'assurer d'une façon régulière la concentration suffisante de l'ozone, elle n'est nullement fondée.

Quiconque a vu fonctionner un ozonateur sait que l'eau stérilisée, au sortir du robinet d'alimentation, présente une odeur caractéristique qui, à elle seule, permet de juger avec un peu d'expérience le degré d'ozonation de l'eau.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, qu'il existe au moins deux procédés extrêmement rapides et précis qui permettent de déterminer le titre de l'air ozonisé.

Passons, sans nous arrêter, à des objections plus graves.

Certains détracteurs ont prétendu que la purification des eaux par l'ozone était toujours incomplète, qu'elle atténuait

simplement les chances d'infection, sans cependant les détruire.

Pour appuyer leurs conclusions de données scientifiques, ils rappellent que, dans les diverses analyses que l'on a faites, l'eau stérilisée ne s'est jamais trouvée complètement stérile.

Nous avons déjà parlé des résultats acquis à ce sujet, mais nous avons aussi établi que les seuls germes persistant après l'ozonisation sont des germes très résistants et inoffensifs, tels que le B. fluorescens, le B. Mesentericus, quelques levures dont l'absorption n'est nullement à craindre.

On ne peut cependant, comme on l'a fait, comparer les résultats de l'ozonisation avec ceux qui résultent du filtrage.

Nous avons déjà dit que les filtres n'avaient aucune action spéciale sur les microbes pathogènes, il n'en est pas de même de l'ozone : son action stérilisante n'épargne jamais que des microbes inoffensifs.

Voici, du reste, les résultats très concluants obtenus dans les expériences de Niagara-Falls (Etats-Unis) : Les essais ont porté non seulement sur l'efficacité de l'ozone, mais encore sur celle du filtrage à sable. Un premier échantillon était pris dans la conduite d'amenée de l'eau brute ; un deuxième échantillon était prélevé après dégrossissement par le sable ; un troisième échantillon était prélevé à la sortie des galeries de stérilisation.

XVI

DATES DES ESSAIS 1903		NOMBRE DE GERMES PAR CENTIMÈTRE CUBE		
		Eau brute	A la sortie du filtre à sable	Après l'ozonisation
3 juillet.	1 . . .	5 870	3 600	0
	2 . . .	»	»	7
	3 . . .	»	»	15
	4 . . .	»	»	8
7 juillet.	5 . . .	6 850	4 100	0
	6 . . .	»	»	0
	7 . . .	»	»	1
	8 . . .	»	»	0
	9 . . .	»	»	3
	10 . . .	»	»	12

L'efficacité du filtre apparaît dans ces essais comme bien inférieure à celle qui résulte de l'action de l'ozone.

Lorsque, il y a environ douze ans, les idées microbiennes furent répandues dans le grand public, elles furent tout d'abord très mal comprises.

Le microbe devint dans l'esprit populaire, naturellement imaginatif, une sorte de mythe terrifiant, pour beaucoup de gens synonyme de mort imminente.

Il n'y avait pas de microbes, il n'y avait que le microbe ; on ne faisait pas de distinction.

Des hygiénistes en chambre réclamaient pour les eaux potables une stérilisation universelle et intégrale devant laquelle aucun germe ne devait trouver grâce. Il ne fallait pas alors mêler dans les questions supérieures d'hygiène une question de gros sous. Depuis lors, les hygiénistes sont devenus plus modestes dans leurs exigences comme dans leurs promesses.

Ils se sont fait de la stérilisation de l'eau une idée à la fois plus pratique, plus clairvoyante et plus profitable.

Il est, en effet, inutile que nous cherchions à éliminer de l'eau des microbes qui résistent assez à la dessication pour pouvoir flotter vivants dans l'atmosphère que nous respirons. Précautions illusoires, puisque l'air aspiré leur sert de véhicule.

Ils pénètrent dans notre économie, soit par la bouche, soit par le nez, et de là, soit dans les voies respiratoires, soit par des mouvements de déglutition dans le tube digestif.

Allant plus loin dans cet ordre de faits, de nombreux physiologistes, considérant aujourd'hui le rôle oxydant que jouent certaines bactéries et certaines levures, leur assignent un rôle important dans les fonctions digestives et dans l'absorption des matières nutritives. Il faut donc, pour qu'une eau potable soit réellement satisfaisante qu'elle contienne un certain nombre de bactéries bienfaisantes.

Ce qu'il importe essentiellement d'exclure de l'eau que nous buvons, ce sont les germes pouvant devenir pathogènes par leur introduction dans le tube digestif, et cependant assez sensibles à la dessication pour que leur transport par l'air soit rendu impossible ou du moins très difficilement admissible, comme c'est le cas pour le spirille du choléra, le bacille d'Eberth et le colibacille. On a cependant cité des cas dans lesquels la stérilisation des eaux par l'ozone n'avait donné que des résultats peu satisfaisants. L'on sait, en effet, que, pour agir sur les matières organiques de l'eau, il faut que l'ozone soit proportionné à la teneur de cette eau en matières organiques. L'ozone agit d'abord sur ces matières et ce n'est que secondairement qu'il exerce son action sur les germes du liquide traité. Ces données aujourd'hui bien connues s'appuient sur de très belles expériences d'un savant allemand, M. Ohlmuller, qui s'est attaché d'une façon toute spéciale à l'étude de l'ozonisa-

tion. Il démontra que de grandes masses d'ozone, « même après un contact prolongé, ne pouvaient parvenir à purifier une eau additionnée d'une certaine quantité de matières organiques ou de sérum (0,25 p. 100) ».

Afin de se rapprocher le plus possible de la réalité, il répéta ces expériences sur des eaux d'égout diluées de manière à ce que leur titrage en permanganate ne fût plus que de 67,8 milligrammes par litre.

Il les traita ensuite en les mettant en contact pendant dix minutes avec de l'air électrisé contenant 95,8 milligrammes d'ozone.

L'eau ainsi ozonisée ne fut débarrassée que de 70 à 80 pour 100 des bacilles typhiques qu'on y avait introduits. Cette même eau, diluée de façon à ne plus titrer que 21,7 de permanganate, après avoir subi pendant dix minutes constamment l'action de 84,4 milligrammes d'ozone, fut débarrassée de 99 pour 100 des microbes cholériques qui l'infectaient. Enfin, l'eau de la Sprée, titrant en permanganate 4,6 milligrammes, fut additionnée de bacilles typhiques de façon à ce qu'un centimètre cube de cette eau contînt 9.000 germes. Cette eau fut rendue stérile en cinq minutes au moyen de 40,6 milligrammes d'ozone. En concordance avec les expériences précédentes, d'Arsonval démontre l'inefficacité de l'ozone à titre germinicide après avoir fait passer de l'air ozonisé dans des bouillons de culture, liquide très chargé en matières oxydables.

M. Duclaux, de même par un calcul très simple, indique que le poids des microbes est toujours infiniment moindre que celui des matières organiques dissoutes dans les eaux de rivière souillées, alors que ces eaux donnent plus de 1.000 colonies par centimètre cube.

Il faut donc reconnaître que la stérilisation des eaux par l'ozone est soumise à un certain aléa.

La composition des eaux de rivière est changeante. Elle dé-

pend des causes les plus diverses (pluie, infiltrations, mauvais entretien des conduits) ; elle varie d'heure en heure.

Aucun signe apparent n'indiquant le moment exact de ces variations, il s'ensuit qu'elles échappent à l'examen du surveillant, et il ne peut les reconnaître par l'analyse que 24 et 48 heures après qu'elles se sont produites, c'est-à-dire trop tard pour la santé publique.

Ces arguments, très valables pour certaines eaux trop chargées en matières organiques, ne le sont plus lorsqu'il s'agit de l'eau normale que l'on emploie dans la consommation usuelle des villes.

Ces eaux contiennent, en effet une quantité bien moins considérable de matières organiques que celles indiquées dans les expériences de Ohlmuller. Les expériences faites sur l'eau de la Seine, de l'Avre et de la Marne nous semblent suffisamment concluantes.

Il est, du reste, facile lorsque les eaux sont trop chargées en matières organiques, de les dégrossir par un filtrage préalable avant de les traiter par l'ozonisation, ainsi qu'il a été fait à Paberborn et à Martinikenfeld.

Il faut aussi se rappeler la faible résistance des germes du choléra et de la fièvre typhoïde ; seul le B. subtilis a quelque résistance vis-à-vis de l'air ozonisé.

Il reste cependant à savoir si l'eau ozonisée, quoique suffisamment stérile, ne présente pas des caractères qui la rendent absolument inutilisable à la consommation.

On a accusé l'eau ozonisée de toutes sortes de méfaits.

On l'a d'abord accusée de provoquer de graves troubles dans les fonctions digestives. On lui reproche, entre autres, de diminuer les sécrétions et de provoquer mille autres maux plus ou moins imaginaires. Nous ne nous arrêterons pas à ces objections qui, nous l'avons déjà démontré, sont dénuées de tout fondement.

Nous citerons simplement à titre de curiosité les expériences de MM. Marmier et Abraham sur les poissons. Ils eurent l'idée d'alimenter pendant plusieurs mois un aquarium avec de l'eau ozonisée. Les habitants de l'aquarium (cyprins dorés) restèrent en parfaite condition.

Est-il besoin de rappeler que les habitants de Paderborn ne boivent que de l'eau ozonisée depuis plus de trois ans sans qu'il soit arrivé pour cela le moindre accident. MM. Marmier et Abraham citent le cas d'un individu qui, soumis au régime de l'eau d'Emmerin stérilisée par l'ozone, se vit débarrassé d'une maladie d'estomac dont il souffrait depuis longtemps.

Nous-même, à la table de l'internat de Monaco, nous nous alimentons depuis plusieurs mois avec de l'eau fournie par un appareil domestique Otto, sans que nous ayons jamais ressenti la moindre lourdeur d'estomac, ni la moindre indisposition.

L'eau traitée par l'ozone peut donc être consommée sans crainte. Son action corrosive ne s'exerce pas plus sur les conduits de canalisation que sur le tube digestif des individus.

On a prétendu que l'ozone attaquait le caoutchouc et les métaux, sauf le platine, l'aluminium et l'étain ; les appareils de conduction contenant l'eau ozonée devraient être en verre, en grès, en porcelaine, en bois ou en fer étamé ; leurs joints en amiante, en liège paraffiné ou en gomme laquée. Les tuyautages de plomb ordinairement employés ne pourraient être utilisés par suite de la formation des nombreux oxydes de plomb naturellement toxiques.

Une pareille énumération suffit pour donner une idée du prix d'une distribution urbaine et des précautions qu'il faudrait employer pour éviter une prompte destruction des canalisations.

Heureusement que de pareilles précautions sont parfaitement inutiles.

Je ne ferai ici que rappeler les recherches citées plus haut ; elles permettent de conclure que l'eau mélangée à l'ozone,

après une aération rapide, se débarrasse presque instantanément de toute trace de ce gaz.

Comme la pratique le démontre, du reste, à Paderborn et à Wiesbaden, la canalisation ordinaire des eaux suffit. Le seul reproche sérieux que l'on ait pu faire à l'emploi de l'ozone dans l'épuration de l'eau, est dû à l'action oxydante de ce gaz sur les produits ferrugineux contenus dans l'eau, oxydation qui produit fatalement un précipité rougeâtre d'oxyde de fer, rendant l'eau, quoique stérilisée, boueuse et imbuvable. C'est ce qui fit échouer les essais de Wiesbaden.

Voici, en quelques mots, ce qui arriva. La ville est munie de deux canalisations bien distinctes ; la première de ces canalisations est alimentée par les eaux du Taunus, qui sont d'excellente qualité, mais qui ne peuvent suffire à la consommation de la ville.

On a établi une deuxième canalisation dans le but de faire servir pour la consommation industrielle qui est alimentée par les eaux du bras mort du Rhin. C'est ce que l'on appelle le Nutwasser (eau industrielle). L'eau du fleuve est recueillie par trois séries parallèles de puits. Certains de ces puits paraissent défavorablement situés et sont susceptibles de contaminations sérieuses. Le fleuve présente, de plus, de grandes variations de niveau qui influent sur la composition chimique et bactériologique des eaux de ces puits.

Les canalisations d'abord bien distinctes l'une de l'autre, finirent par être confondues. Il se produisit à Wiesbaden ce qui se passe un peu partout. Quand on a côte à côte dans les rues un tuyau avec peu d'eau, l'autre avec beaucoup, on se demande si l'on ne pourrait pas suppléer au déficit de l'un avec le superflu de l'autre.

C'est ce qui donna à Wiesbaden l'idée de stériliser son eau industrielle.

Pressentie par M. Erlwein, elle accepta en principe la stérilisation de l'eau par l'ozone.

Tout d'abord l'installation marcha à souhait, mais peu de temps après se produisit un changement : l'eau du sous-sol était devenue ferrugineuse et l'ozone, précipitant le fer à l'état d'oxyde, la rendait brune et par conséquent inutilisable. C'est alors Siémens et Halske proposèrent de parer à cet inconvénient par la filtration des eaux chargées de fer.

Les prétentions exagérées de la ville empêchèrent la réalisation du projet.

C'est ainsi que l'installation d'ozonification de Wiesbaden ne fonctionne plus depuis mi-mai 1903.

Depuis lors, la qualité de l'eau fournie par les puits s'est notablement améliorée, de telle sorte qu'une épuration ultérieure par l'ozone est devenue inutile.

Reste à savoir si cette mise hors de service sera permanente ou simplement temporaire et rendue possible par la qualité actuelle des eaux.

Il importait de bien préciser que si l'installation de Wiesbaden a été abandonnée, ce n'est nullement à cause de l'inefficacité du système, mais à cause de son inutilité par suite de conditions locales spéciales.

Voilà pourquoi le bruit qu'ont fait les détracteurs de l'ozonisation autour de l'échec de Wiesbaden, ne nous semble pas fondé.

Aucune des objections que l'on a pu faire contre l'emploi de l'ozone pour la purification des eaux n'est donc pleinement justifiée et l'on peut dire sans crainte qu'avec les quelques précautions nécessaires déjà signalées, on peut obtenir facilement une stérilisation efficace, pratique et somme toute peu coûteuse.

CONCLUSIONS

Dans ce travail nous avons surtout essayé de synthétiser de nombreux faits dispersés dans des brochures et dans diverses revues.

De cette étude générale, nous nous permettrons de déduire quelques conclusions :

1° Les eaux ouvertes, même lorsqu'elles contiennent des microbes nombreux et des espèces résistantes, sont sûrement stérilisées par l'ozone à condition que leur titre en permanganate ne dépasse pas certaine limite.

Le degré de concentration de l'ozone et la durée du contact nécessaire pour avoir une épuration suffisante varie d'après l'état des diverses eaux et leurs divers degrés de souillure.

2° L'ozonisation des eaux de rivière, même souillées par divers éléments organiques et colorées par des matières humiques, donnent des résultats excellents au point de vue de l'amélioration de ses propriétés organoleptiques.

3° L'action épuratrice de l'ozone se traduit par des modifications plus ou moins appréciables de divers éléments de

l'eau, mais ce qui dominera surtout, c'est la diminution remarquable des matières organiques.

Les toxines et les produits de la vie microbienne contenus dans l'eau sont en grande partie détruits par l'ozone.

Une eau souillée par des infiltrations et contenant des produits de putréfaction devient toujours, grâce à l'ozone, utilisable pour la consommation.

4° L'ozonisation n'apporte dans l'eau traitée aucun élément étranger préjudiciable à la santé des personnes amenées à en faire usage.

5° On doit cependant ajouter que la composition de l'eau joue un rôle considérable dans l'ozonisation : suivant qu'elle est plus ou moins riche en matières organiques, il faudra des quantités d'ozone plus ou moins considérables pour arriver à une purification complète des eaux.

Si cette eau renferme des sels de fer, par suite de la formation d'oxyde, elle prendra un aspect qui en fera rejeter l'emploi ou nécessitera des frais d'installation supplémentaires. De plus, les eaux ouvertes étant sujettes, suivant les temps et les saisons, à présenter des variations dans leur composition et dans le rapport de leurs éléments, devront, en conséquence, être soumises à des traitements différents suivant les cas.

L'ozonisation offre donc un moyen de rendre l'eau inoffensive. Elle diminue, de ce fait, le nombre des épidémies de choléra. Elle nous protège d'une façon efficace contre la fièvre typhoïde, « si l'on veut bien réfléchir aux nombreuses victimes que fait encore en France cette maladie et au rôle prépondérant que l'eau semble jouer dans sa propagation.

Si l'on veut peser d'autre part les frais énormes qu'exige la recherche et l'amenée de l'eau censée pure, et les déceptions auxquelles ces eaux de source ont trop souvent donné lieu, et dont un des exemples les plus connus est celui de la ville de Paris, on ne peut que regretter que ce moyen artificiel de se procurer de l'eau inoffensive n'ait encore davantage été mis en pratique ; il simplifierait beaucoup dans bien des cas, la solution du problème de l'eau d'alimentation pour les villes. » (Rietsch.)

Vu et permis d'imprimer
Pour le Recteur
Président du Conseil de l'Université
Le Doyen délégué,
MAIRET.

Vu et approuvé
Montpellier, le 21 juillet 1906.
Le Doyen,
MAIRET.

BIBLIOGRAPHIE

Stérilisation des eaux d'alimentation par l'ozone.

Ogier et Bonjean (articlés parus dans *La Nature).*

Ozone et coqueluche par le docteur Labé. *Revue de la médecine infantile.* 11 juin 1905.

L'oxygène et l'ozone, par Pécheux.

Sur l'épuration bactérienne de l'eau par l'ozone, par le professeur Rietsch.

Sensibilité du bacille typhique à l'air ozonisé, par MM. Rietsch et Gavard.

Le Congrès des ingénieurs du gaz et d'eau allemand, 1903, extrait de la *Technologie sanitaire.*

Traité d'hygiène, Brouardel et Mosny.

Stérilisation de l'eau par l'ozone, Bouriez, *Annales de l'institut Pasteur*, 25 avril 1899.

Arbeiten aus dem Kaiserlicher Gesumdheitsamte, 1902, XVIII, 517, Ohlmuller et Prall.

Zeitschrift für hygiène and infections krankheiten, XVI-221, Schüder et Proskauer.

Uber trinkwasserrienigung durch Ozon und Ozonwasserverke, Leipsig, 1904.

Otto, conférence à la Sorbonne, Paris, 1897.

C. R. de l'Académie des sciences, Otto, 1896, t. CXXIII, p. 1005.

Otto, recherches sur l'ozone. Thèse Faculté des sciences, 1891.

Mémoire de la Société des ingénieurs civils, février 1900.

Compte rendu Académie des sciences, t. LXV, p. 893.

Annales de chimie et de physique, 1883, t. LXVII, p. 466.

La stérilisation de l'eau par l'ozone aux brasseries de la Méditerranée, par H. de Montricher.

Ueber die abtodlung pathogener bakterien im wasser mittels ozon nach deur system Siemens Halske, par Schüder et Proskauer.

Die Behandlung des trinkwasser mit ozon, par Ohlmüller et Prall. Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gezundheisamte, 1902, XVIII, 517.

Elwein. – Revue d'Hygiène du 20 juin 1904.

Société de médecine publique et de génie sanitaire (séance du 24 novembre 1904).

La stérilisation industrielle des eaux potables par l'ozone, par MM. Marmier et Abram.

Leimfreies Trinkowasser mittels ozon, Th. Weyl.

Sur de récentes expériences relatives à la production et à l'utilisation de l'ozone en matière d'épuration de l'eau, par M. Léon Girard. (*Revue d'hygiène*, 1905, p. 114).

On the influence of ozone on the vitality of some pathogenie and other bacteria, par les docteurs Arthur Ransonne et Alexander, G R Foulerton (*The Lancet*, 2 mars 1901, page 607).

Rapport sur l'application des procédés Otto à la stérilisation par des eaux d'alimentation de la ville de Nice (1905).

Rapport sur la stérilisation industrielle des eaux potables par l'ozone au moyen des appareils et procédés de MM. Marmier et Abram (1899).

Rapport officiel du Comité consultatif d'hygiène de France sur la stérilisation par l'ozone des eaux destinées à l'alimentation publique (1903)

Rapport du docteur Xavier Bender sur la stérilisation des eaux d'alimentation par l'ozone à l'hôpital Broca.

Trinkovassereinigung durch Ozen nach system Siemens Halske par R. Schindler (Gesunheit-Ingenieur 1902).

SERMENT

En présence des Maîtres de cette École, de mes chers condisciples, et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses! Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque!

